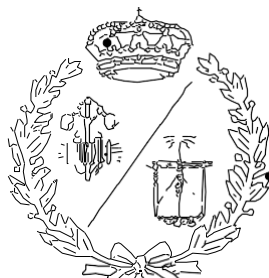


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO
CERCANO PARA LA REPRODUCCIÓN
DE PIEZAS INDUSTRIALES
DESCATALOGADAS.**

**Close Range Photogrammetry for the
reproduction of discontinued industrial
pieces.**

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Guillermo Laredo Fernández

Enero - 2019

AGRADECIMIENTOS

Quisiera empezar mostrando mi agradecimiento a mi familia y amigos, en especial a mis padres, a mi novia, y a mis abuelos.

A mi tutora Elena Castillo, por darme la oportunidad de realizar con ella este proyecto, y por la gran ayuda que me ha brindado a lo largo de todo su desarrollo. Gracias también a Vicente Bayarri por facilitarnos el material fotográfico necesario para la captura de información y a José Enrique Cerón por facilitarnos las piezas objeto del trabajo.

A todas las personas, ya sean compañeros o profesores, con quien he compartido buenos momentos a lo largo de estos años de estudio.

Guillermo

INDICE

1	INTRODUCCION	12
2	OBJETIVOS.....	14
3	PIEZAS OBJETO DE ESTUDIO	15
3.1	PIEZAS DE UNA BOMBA DE ACEITE	15
3.2	VALVULA A MOTOR.....	16
4	METROLOGIA DE OBJETO CERCANO	18
4.1	DIGITALIZACION 3D.....	19
4.2	TECNICAS BASADAS EN IMAGEN	22
4.2.1	Técnicas fotogramétricas en función de la plataforma y la distancia al objeto	23
4.2.2	Técnicas fotogramétricas en función del soporte	24
4.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAMETRIA	26
4.3.1	Ventajas de la fotogrametría	27
4.3.2	Desventajas de la fotogrametría	27
5	METODOLOGIA APLICADA.....	28
5.1	CONCEPTOS BASICOS	28
5.2	CARACTERISTICAS GENERALES.....	29
5.3	APLICACIONES	29
5.4	METODOLOGIA PROPUESTA PARA EL CAMPO INDUSTRIAL.....	31
6	MATERIAL UTILIZADO	33
6.1	CAMARA Y ACCESORIOS	33
6.2	SOFTWARE UTILIZADO	38
6.2.1	AGISOFT PHOTOSCAN (Versión DEMO).....	38
6.2.2	GEOMAGIC WRAP	39
6.2.3	ADOBE LIGHTROOM.....	41
6.2.4	AUTODESK INVENTOR.....	41
7	PROCESO DE REPRODUCCION DE LAS PIEZAS.....	42
7.1	REGISTRO	42
7.2	PROCESADO	43
8	RESULTADOS.....	54
8.1	MODELO GENERADO MEDIANTE FOTOGRAMETRIA.....	54

8.2	MODELOS Y PLANOS OBTENIDOS DE LAS PIEZAS REALES MEDIANTE LA UTILIZACION DE CALIBRE	57
8.3	VALIDACIÓN METODOLÓGICA	61
9	PRESUPUESTO.....	65
10	CONCLUSIONES.....	66
11	REFERENCIAS	67
11.1	LIBROS O MANUALES TECNICOS	67
11.2	NORMATIVA TECNICA.....	67
11.3	SITIOS WEB DE INTERES PARA LA TEMATICA.....	68
	[8] https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_(instrumento)	68
	[10] https://www.scientec.com.mx/agisoft-photoscan/	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso fotogramétrico: (a) de objeto a imagen (b) de objeto a modelo. (Luhmann et al., 2006)	12
Figura 2: Relación existente entre el tamaño de objeto y los diferentes métodos de medición en función de la precisión exigida (Luhmann et al., 2006)	13
Figura 3: Piezas de la bomba de aceite.	15
Figura 4: Ejemplo de bomba de aceite completa (Bomba de aceite modelo TC88 09-06)... ..	16
Figura 5: Válvula a motor utilizada en este proyecto.	17
Figura 6: Metodologías de digitalización 3D.	18
Figura 7: Tipos de técnicas ópticas de digitalización 3D en función de los sensores activos o pasivos.....	18
Figura 8: Ejemplo de escaneo en 3D.	19
Figura 9: Láser portátil de triangulación Scanner 700 CX de ZCorp (Bayarri, 2011).	20
Figura 10: Brazo escáner láser de FARO.....	21
Figura 11: AICON SmartSCAN R5 White Light Scanner (Bayarri, 2011).....	22
Figura 12: Etapas del proceso fotogramétrico.	22
Figura 13: Ejemplo de realización de fotogrametría aérea.	23
Figura 14: Sistema fotogramétrico analógico. (Luhmann et al., 2006)	25
Figura 15: Ejemplo de fotogrametría digital.....	26
Figura 16: Relación entre el tamaño del objeto medido, precisión de medición requerida y tecnología relevante (Luhmann et al., 2006).	28
Figura 17: Modelo de trabajo.	31
Figura 18: Cámara Sony A7 R-Mark ii (https://www.ephotozine.com/article/sony-alpha-a7r-ilce-7rfull-review-23186)	33
Figura 19: Imagen de una escala ABFO.	35
Figura 20: Escala ABFO utilizada en la realización de las fotos.	35
Figura 21: Anillo de luz utilizado.....	37
Figura 22: Software Agisoft PhotoScan.....	39
Figura 23: Software Geomagic Wrap.	40
Figura 24: Registro de las piezas.	42
Figura 25: Flujo de trabajo: añadir fotos.....	44

Figura 26: Fotos añadidas.....	45
Figura 27: Flujo de trabajo: Orientar fotos.....	45
Figura 28: Ventana para la orientación de las fotos	45
Figura 29: Proceso de calibración de cámara (1).	46
Figura 30: Proceso de calibración de cámara (2).	47
Figura 31: Proceso de eliminación de puntos.....	47
Figura 32: Redimensionamiento del volumen de trabajo.....	48
Figura 33: Creación de nube de puntos densa (1).	49
Figura 34: Creación de nube de puntos densa (2).	49
Figura 35: Modelo creado.	50
Figura 36: Creación de malla (1).	51
Figura 37: Creación de malla (2).	51
Figura 38: Ejemplo de la pieza modelada en la que vemos imperfecciones.	52
Figura 39: Parametrización para su posterior manejo en Inventor.....	53
Figura 40: Piezas de la bomba de aceite en Geomagic Wrap.	54
Figura 41: Vista de la pieza con 3.138.680 triángulos	55
Figura 42: Opciones del programa para la reducción del número de triángulos en función de la tolerancia.	55
Figura 43: Vista de la pieza con 3.174.298 triángulos.	56
Figura 44: Vista de la pieza 2.....	56
Figura 45: Calibre utilizado.....	57
Figura 46: Nonio del calibre utilizado.	57
Figura 47: Vista de la figura 1 modelada con Inventor.....	58
Figura 48: Vista de la figura 2 modelada con Inventor.....	58
Figura 49: Establecer Test y Reference.	61
Figura 50: Modelos antes de seleccionar los puntos para alinear.	62
Figura 51: Modelos con los puntos para alinear seleccionados.....	62
Figura 52: Vista de los modelos alineados.	63
Figura 53: Comparativa 3D de los dos modelos en una escala de color.	63
Figura 54: Comparación entre secciones de pieza 1.....	64
Figura 55: Comparación entre secciones de pieza 2.....	64

RESUMEN

El objetivo de este trabajo, como quedará patente en los distintos apartados que constituyen el documento, no es otro que el análisis de las posibilidades que ofrece la fotogrametría de objeto cercano para la reproducción de piezas industriales descatalogadas.

Para llevar a cabo el objetivo anteriormente indicado se ha comenzado realizando una revisión pormenorizada, que se ha intentado resumir en este proyecto, de las principales técnicas de imagen existentes en el mercado y que pueden ser aplicables al planteamiento propuesto.

Abordar el trabajo planteado desde un punto de vista económica y técnicamente viable ha sido la principal premisa a cumplir, es decir, utilizar una tecnología de medición precisa, rápida, sinóptica y global del elemento a estudiar, garantizando las precisiones exigidas. Está especialmente enfocado a elementos con una geometría compleja y a entornos industriales en los que se carece de tecnología para realizar este tipo de trabajos.

De todas las posibles metodologías a aplicar se ha optado por el método de la fotogrametría de objeto cercano y se ha procedido a definir todo el proyecto de captura de información (tipo de cámara, objetivo, iluminación, polarizadores, calibración...). Se han elegido tres piezas, de diferente complejidad, con el fin de establecer una metodología de trabajo que garantice, con cierta certeza, las posibilidades que esta metodología ofrece en el campo de la Ingeniería Mecánica.

A partir de las imágenes capturadas se ha generado un modelo tridimensional, que garantice las precisiones exigidas y que habíamos marcado en las 50 micras, que sea compatible con el equipo de reproducción de las piezas o que permita generar los moldes necesarios para su fabricación.

En último lugar se ha procedido a validar la metodología propuesta mediante la comparación de los planos generados al seccionar el modelo obtenido por fotogrametría con los planos que se obtienen utilizando la metodología clásica de medición mediante calibre, al objeto de ver posibles desviaciones entre ambas metodologías.

Por tanto, establecer una metodología operativa en fábrica y, a la vez, económicamente asumible por una pequeña o mediana empresa ha sido el propósito de este trabajo. Extraer conclusiones sobre el método y validar su utilidad, en el campo de aplicación planteado, son el objeto final a cubrir.

1 INTRODUCCION

Las técnicas basadas en imagen abarcan diferentes métodos de medición e interpretación de imágenes digitales, es decir, representaciones bidimensionales de matrices a partir de las cuales es posible extraer la forma y ubicación de un objeto a partir de una o más imágenes.

El propósito principal de una medición fotogramétrica es la reconstrucción tridimensional digital del elemento objeto de estudio. Para llevar a cabo esta reconstrucción es preciso describir el proceso de captura de las imágenes necesarias para dicha digitalización. Esto incluye todos aquellos elementos implicados en la captura, tales como la/s fuentes de iluminación, las propiedades de la superficie a estudiar, el medio en el que se van a realizar las capturas, el tipo de sensor y cámara a emplear, así como todo el tratamiento digital de imágenes posterior a la captura.

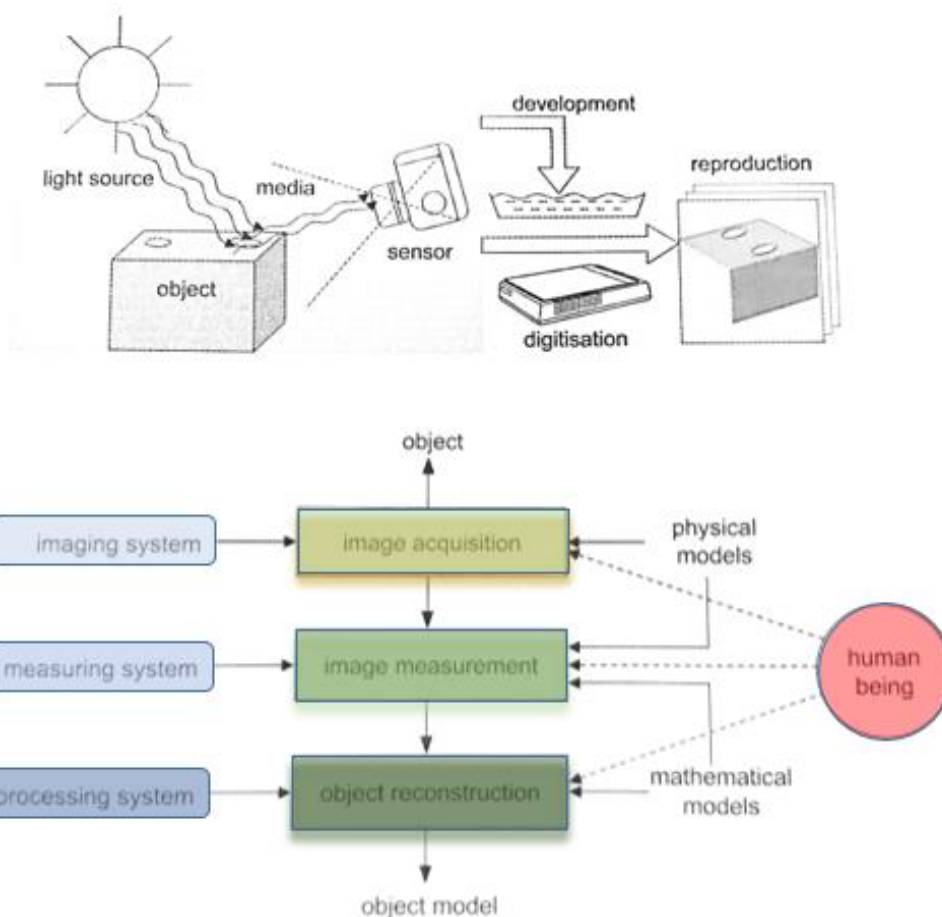


Figura 1: Proceso fotogramétrico: (a) de objeto a imagen (b) de objeto a modelo. (Luhmann et al., 2006)

La fotogrametría de objeto cercano tiene múltiples aplicaciones y muchas sinergias con el mundo del diseño asistido por ordenador (CAD), de los sistemas de información geográfica (SIG) y la cartografía. Son muy frecuentes las aplicaciones de la fotogrametría relacionadas con la metrología industrial y el control de la calidad.

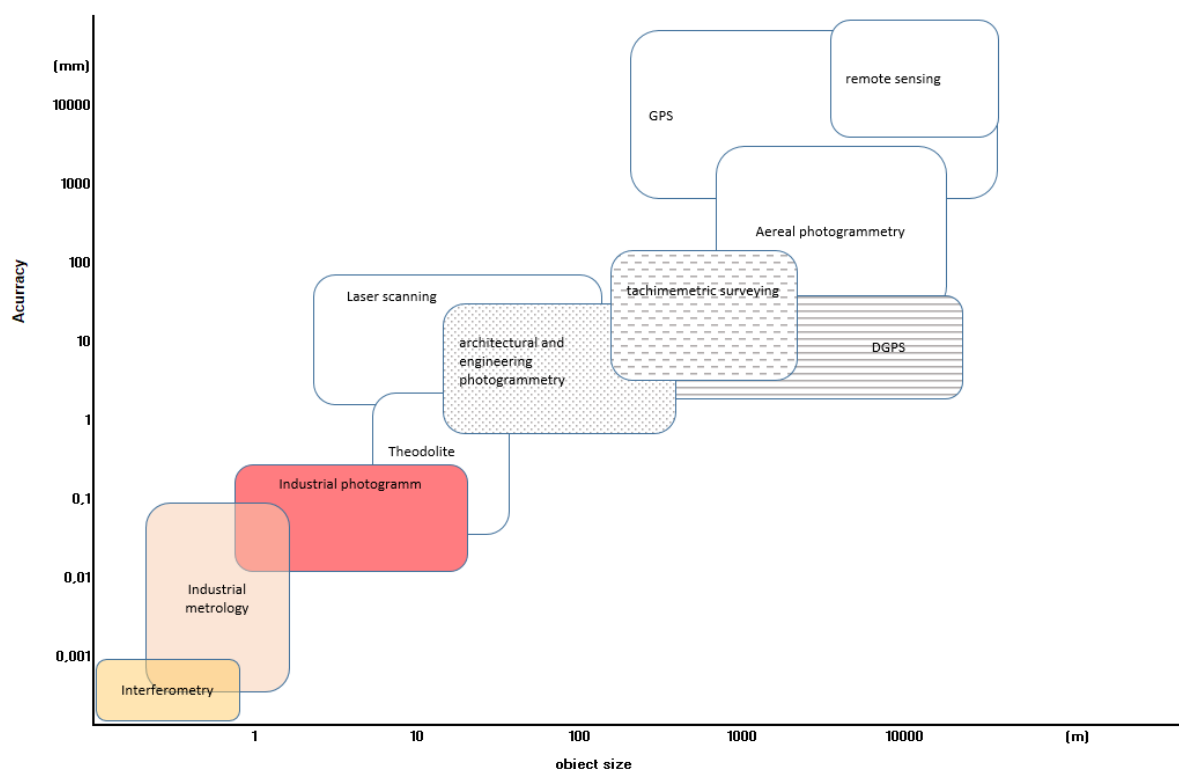


Figura 2: Relación existente entre el tamaño de objeto y los diferentes métodos de medición en función de la precisión exigida (Luhmann et al., 2006)

Este trabajo no se va a describir el origen de la fotogrametría y los sistemas analógicos y analíticos utilizados a lo largo del tiempo. Ahora bien, centraremos nuestro estudio en los sistemas digitales utilizados en la actualidad y que han transformado profundamente todo el procedimiento fotogramétrico utilizado durante años.

Los sistemas digitales ofrecen una ventaja, especialmente importante en el campo de la robótica y la metrología industrial, que es la automatización de los procesos de captura y los ciclos cortos de procesamiento de la información.

La inspección de plantillas, la ingeniería inversa de modelos de diseño, los controles de producción, la calibración de los robots, la medición de forma óptica y sinóptica.... son algunas de las aplicaciones más extendidas en el campo de la automoción, de la ingeniería mecánica, la industria aeroespacial, ...

2 OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo no es otro que el **estudio de viabilidad de la utilización de técnicas basadas en la imagen, como es la fotogrametría de objeto cercano, para la reproducción de piezas industriales** que se encuentran descatalogadas, para poder volver a fabricarlas. Por tanto, haciendo uso de la ingeniería inversa se obtendrá los modelos necesarios de dichas piezas, para poder llevar a cabo su reproducción.

El objetivo principal de este trabajo consiste en definir una metodología de trabajo en campo que, por una parte, sea efectiva y, por otra, que requiera una inversión controlada para una pequeña y mediana empresa. Conseguir demostrar la efectividad del método aplicado, utilizando diferentes piezas, de diferentes formas y de complejidad variable, y conseguir modelarlas tridimensionalmente son el objetivo fundamental a conseguir con este trabajo.

Analizar si gracias a las metodologías basadas en técnicas de imagen (láser escáner, brazo escáner, fotogrametría...) podríamos realizar un modelo de una pieza, en un formato de intercambio reconocido como es el STL, u otro similar, con los que se puedan mandar a fabricar dichas piezas una vez hayan sido modeladas.

Por tanto, los principales hitos a conseguir son:

- establecer una metodología de trabajo que permita la reproducción de piezas industriales;
- establecer la precisión exigida en función de la pieza a reproducir;
- establecer un protocolo de medición en taller en base a las características del elemento;
- modelar y parametrizar la pieza objeto de estudio;
- verificar la calidad del modelo y los formatos compatibles con el procedimiento de reproducción elegido;
- validar el método planteado;
- establecer conclusiones.

3 PIEZAS OBJETO DE ESTUDIO

Para la realización de este proyecto se han planteado tres piezas industriales de complejidad variable. Dos de ellas forman parte de una bomba de aceite y la tercera es una válvula a motor y el casquillo guía de un motor. Todas las piezas proceden de un motor de la marca Renault.

3.1 PIEZAS DE UNA BOMBA DE ACEITE

Los motores son una serie de piezas ensambladas, que para que funcionen de una manera correcta necesitan una cierta lubricación, para que su vida útil sea lo más larga posible. Las bombas de aceite son un conjunto de piezas que mueven el aceite a lo largo de todo el motor, de manera que el aceite tenga un caudal y una presión adecuada al funcionamiento del motor. Gracias a esto, se evitan los rozamientos entre piezas evitando que las piezas pierdan movilidad debido a rozamientos.



Figura 3: Piezas de la bomba de aceite.

Cuanto mayor sea la presión del motor, mayor se la tempera del aceite de dicho motor. Esto provoca la necesidad de colocar un radiador en los motores que se van a encontrar con altas revoluciones y que trabajen con un rendimiento elevado.



Figura 4: Ejemplo de bomba de aceite completa (Bomba de aceite modelo TC88 09-06).

3.2 VALVULA A MOTOR

Las válvulas son una serie de piezas que se encuentra en los cilindros, que se abren y se cierra de una manera hermética. Estas válvulas controlar el flujo de aire en el cilindro. Debido al trabajo que realizan están sometidas a elevados esfuerzos, tanto térmicos como mecánicos.

Para obtener un buen funcionamiento de estas válvulas es necesario que estén diseñadas de una manera correcta y con unos materiales adecuados.

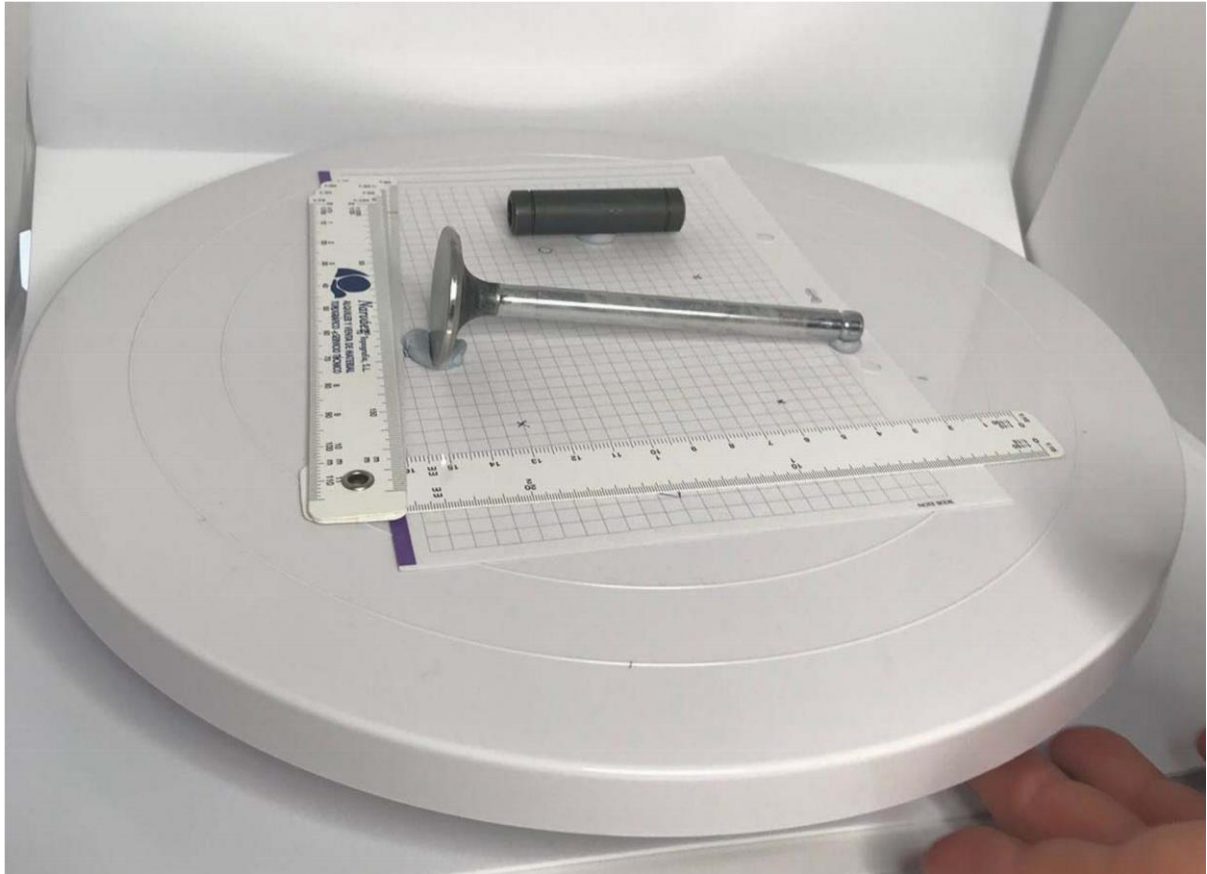


Figura 5: Válvula a motor utilizada en este proyecto.

4 METROLOGIA DE OBJETO CERCANO

La metrología óptica dimensional “es la ciencia que se encarga de la medida de longitudes y de ángulos, asignando a cada una de las medidas realizadas un error determinado relacionado con el instrumento de medida y con el proceso”. Uno de los términos directamente ligados a este campo es el de la digitalización 3D, es decir, el proceso a través del cual se obtienen coordenadas tridimensionales de los objetos físicos. A continuación, se muestra un esquema de las principales técnicas de digitalización 3D existentes actualmente:



Figura 6: Metodologías de digitalización 3D.

De todas las técnicas que permiten obtener coordenadas tridimensionales de objetos físicos, este trabajo se centra en las técnicas ópticas, es decir, en las técnicas que a través de metodologías sin contacto permiten estudiar los elementos objeto de estudio.



Figura 7: Tipos de técnicas ópticas de digitalización 3D en función de los sensores activos o pasivos.

De todas las metodologías posibles nos centraremos en la utilización de técnicas ópticas mediante sensores pasivos. Más concretamente en la fotogrametría de objeto cercano.

4.1 DIGITALIZACION 3D

Digitalización es la palabra utilizada para describir como es la toma de información en 3D de una superficie de una determinada forma. Se utilizada en una gran cantidad de aplicaciones, en cualquier campo en el que se necesite obtener el modelo geométrico tridimensional de un objeto o superficie.

Para la realización de este proceso, una herramienta llamada sonda, se va moviendo a través de dicha superficie, con el fin de obtener de dicha superficie una información en forma de datos numéricos. Posteriormente, estos datos numéricos son traducidos a un archivo.

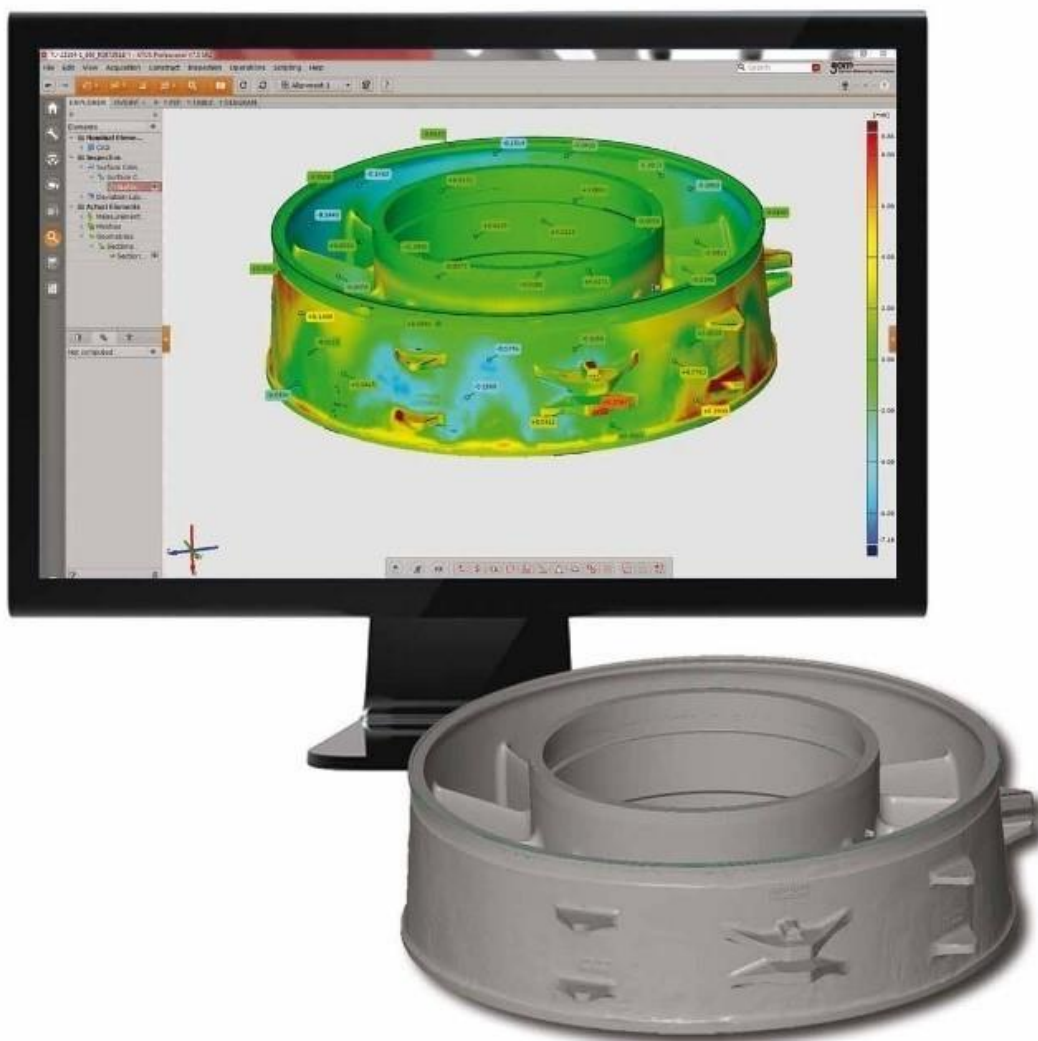


Figura 8: Ejemplo de escaneo en 3D.

Para realizar el proceso, la herramienta toma una gran cantidad de puntos del elemento objeto de estudio, para definir su forma, siendo necesario únicamente establecer los puntos iniciales y finales por el usuario.

Existe la posibilidad de digitalizar cualquier tipo de superficie, independientemente de su forma y tamaño.

En el caso que sea necesario una reproducción de dicha superficie, que serían piezas, se pueden exportar los datos obtenidos a una máquina de control numérico.

Los modelos creados a partir de digitalización 3D, tienen la propiedad de ser editables con una serie de software informáticos. Para lograr esto, es necesario procesar los datos en forma de nubes de puntos o mallas.

Para llevar a cabo esa digitalización podríamos haber utilizado otros métodos alternativos a la fotogrametría de objeto cercano como pudieran ser:

- láser portátil de triangulación;
- brazo de medición portátil;
- tecnología de patrones de luz estructurada de Breuckmann.

Todos ellos bastante más costosos y en ocasiones difíciles de amortizar.



Figura 9: Láser portátil de triangulación Scanner 700 CX de ZCorp (Bayarri, 2011).

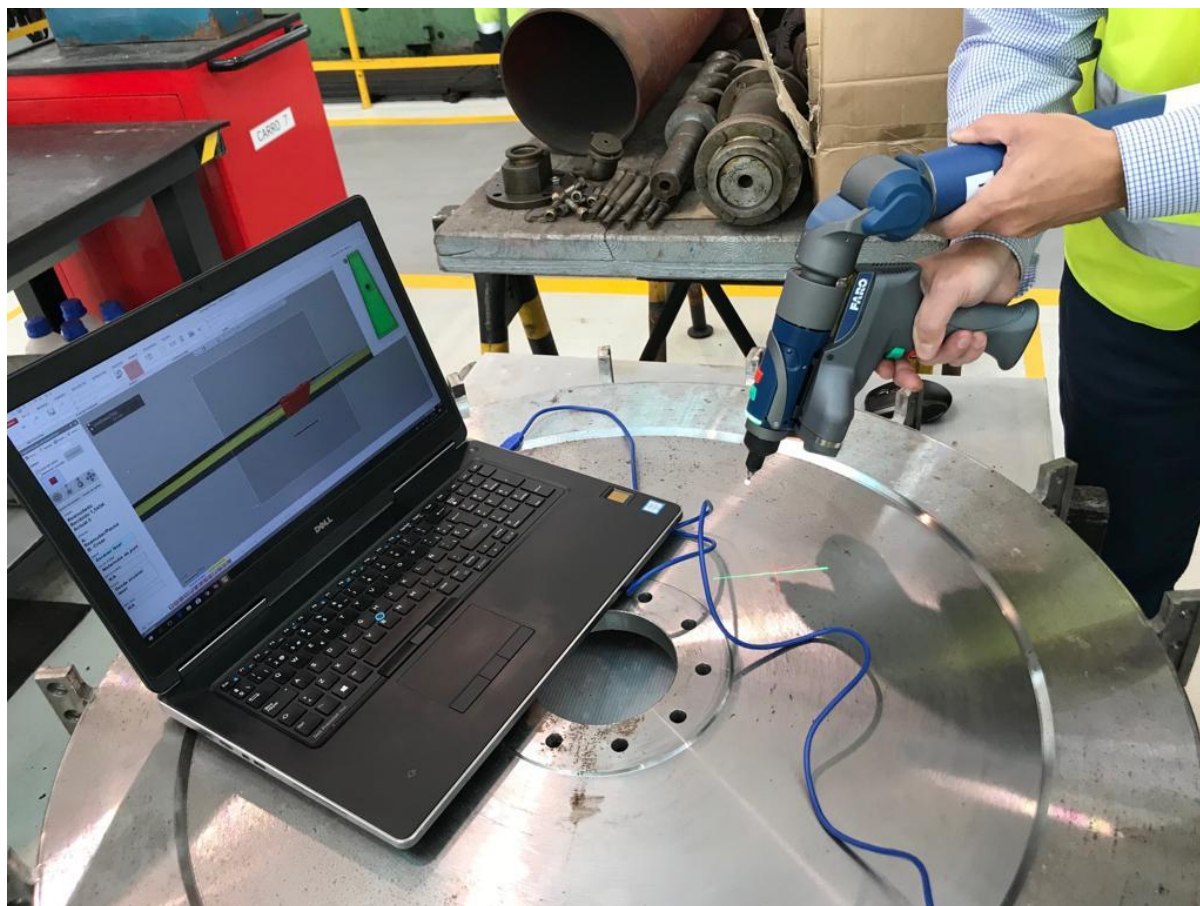


Figura 10: Brazo escáner láser de FARO.

Cada tecnología presenta unas ventajas y desventajas en términos de portabilidad, velocidad de escaneo, fiabilidad y adaptabilidad al medio, pero creemos que el más económico es en el que se basa este trabajo. Los métodos presentados trabajan en torno a las 20 micras.



Figura 11: AICON SmartSCAN R5 White Light Scanner (Bayarri, 2011).

4.2 TECNICAS BASADAS EN IMAGEN

A lo largo de la utilización de estas técnicas, se han desarrollado diferentes métodos que se han ido adaptando a los campos de aplicación en los han sido necesario. Debido a esto se han ido creando equipos más específicos que tiene la capacidad de realizar estas técnicas de una manera más especializada.

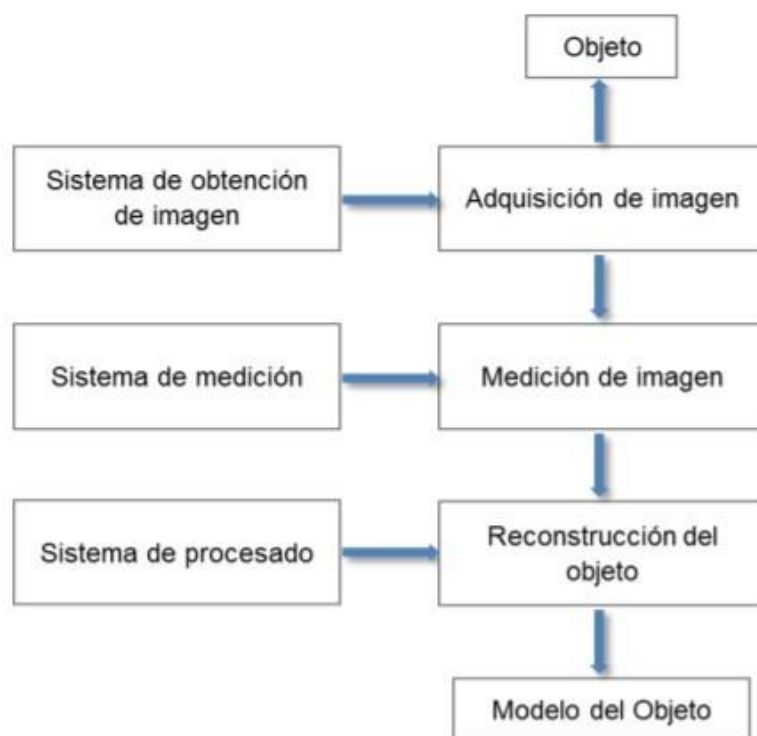


Figura 12: Etapas del proceso fotogramétrico.

Existen varias formas de clasificar la fotogrametría. Una de ellas es en función de la plataforma y distancia al objeto (fotogrametría aérea, terrestre, objeto cercano), pero existe otra manera de hablar de la fotogrametría haciendo referencia al soporte utilizado (analógico, analítico y digital).

4.2.1 Técnicas fotogramétricas en función de la plataforma y la distancia al objeto

En este apartado se va a realizar una breve exposición de dónde viene el concepto de fotogrametría (aérea, terrestre y de objeto cercano) y su fundamento teniendo presente que la fotogrametría de objeto cercano será la metodología elegida para llevar a cabo la reproducción de las piezas planteadas en este trabajo.

4.2.1.1 Fotogrametría aérea

La fotogrametría aérea es una tipo de fotogrametría que usa imágenes tomadas desde una cámara aerotransportada. Esto hace que el eje óptico sea siempre vertical, y que no tenga una posición determinada en el espacio. En la actualidad, está aumentando la fotogrametría aérea en formatos pequeños, gracias a su accesibilidad económica debido al desarrollo de nuevos métodos de transportar las cámaras.

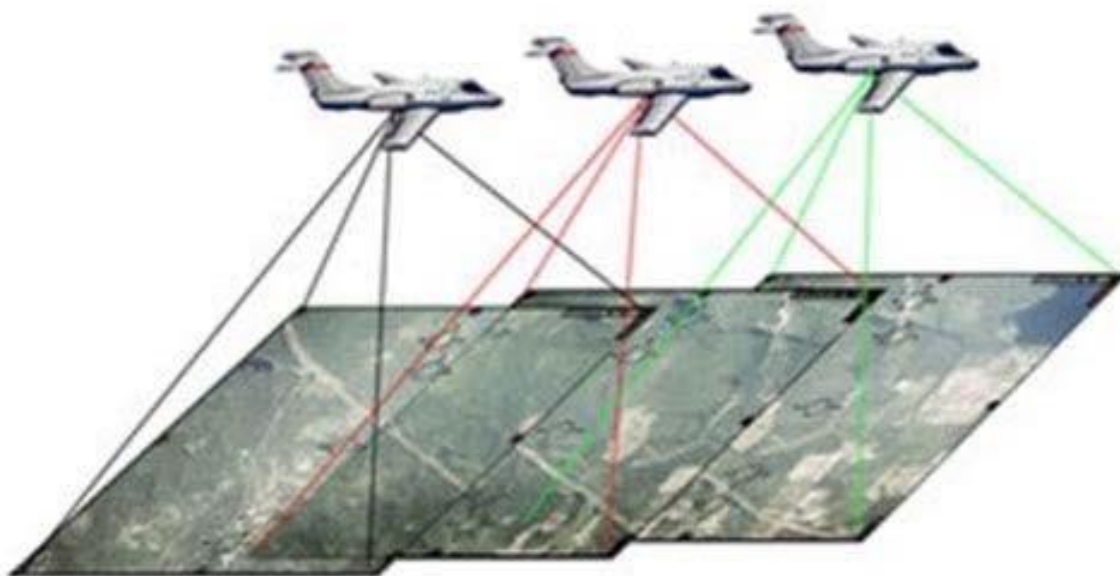


Figura 13: Ejemplo de realización de fotogrametría aérea.

4.2.1.2 Fotogrametría terrestre

La fotogrametría terrestre utiliza imágenes tomadas desde un soporte terrestre, y por este motivo su nombre. En este caso, los elementos de orientación son conocidos desde el principio. En la actualidad, se utiliza en una gran cantidad de campos, pero sobre todo en la realización de levantamiento topográficos.

4.2.1.3 Fotogrametría de objeto cercano

Esta metodología, agrupa a todas las aplicaciones que no son utilizadas para una aplicación geográfica o geodésica. Se utiliza para resolver problemas con una solución muy específica. Este tipo de fotogrametría tiene una gran cantidad de técnicas a la hora de capturar la información y realizar el posterior procesamiento de esta.

4.2.2 Técnicas fotogramétricas en función del soporte

En este apartado podemos diferenciar entre analógico, analítico y digital.

4.2.2.1 Fotogrametría analógica

En este tipo de fotogrametría se utilizan aparatos de restitución, y gracias a estos se realizó gran parte de la cartografía de todo el mundo. Las fotografías se colocan en un aparato reconstituidor, y el usuario realiza una orientación para generar un modelo estereoscópico, de manera que este nivelado y escalado de una manera correcta. El levantamiento del modelo se realiza de una manera manual, siguiendo la marca flotante en los detalles que se observan en la superficie del modelo. Esta información es dibujada en una hoja o cartulina colocada sobre una mesa, relacionando el modelo a través de medios eléctricos o mecánicos.

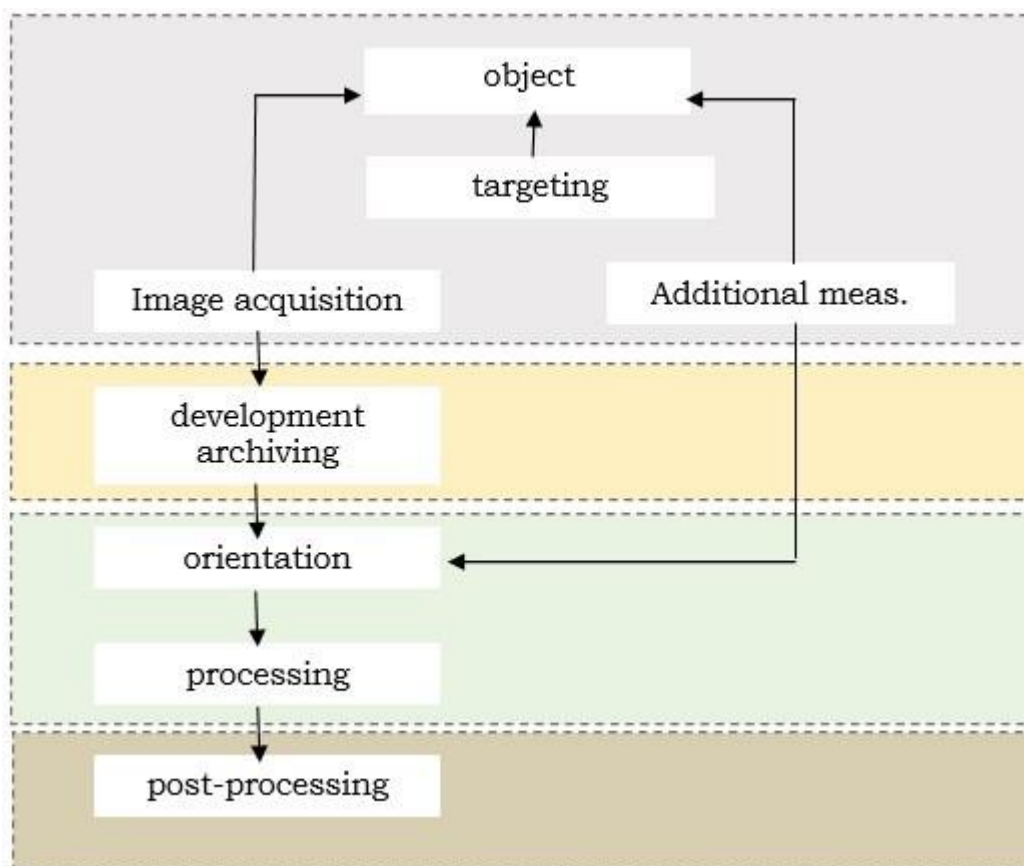


Figura 14: Sistema fotogramétrico analógico. (Luhmann et al., 2006)

4.2.2.2 Fotogrametría analítica

Surge a mediados del siglo 20, a través de la relación entre aparatos restituidores y la aparición de la computación. En este tipo de fotogrametría la toma de información es de tipo analógica, mientras que el modelado se realiza de manera matemática.

Utilizando un monocomparador se van realizando medidas de las coordenadas de los puntos que se aprecian en las imágenes, y dichos puntos son estudiados y procesados con programas del sistema computacional. Estos programas realizan una orientación analítica y procesan la información realizando un levantamiento del modelo realizado por el usuario, para colocarlo en una posición ortogonal, y finalmente exportarlo a CAD.

4.2.2.3 Fotogrametría digital

En el tipo de fotogrametría más utilizado en la actualidad. Esto es debido al desarrollo que se está produciendo en el mundo de la computación. Debido a este tipo de fotogrametría aumentan las posibilidades de estudio de imágenes, de manera que llevan a cabo la generación de modelos de una manera automática.



Figura 15: Ejemplo de fotogrametría digital.

Para la realización de estos modelos, las imágenes se introducen en un software, y visualizando dichas imágenes, el usuario utiliza puntos homólogos para orientar dichas imágenes y llevar a cabo la orientación y el escalado. Gracias a este método se pueden obtener resultados en distintos formatos.

4.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAMETRIA

La fotogrametría se la basa en la reconstrucción tridimensional de una realidad a partir de imágenes en dos dimensiones, por ellos sus ventajas y desventajas van unidas a la manera de captar la información y a los equipos utilizados.

4.3.1 Ventajas de la fotogrametría

- La principal ventaja es la reducción de costes, ya que es un método que es relativamente barato para la cantidad de información que se obtiene.
- No son necesarios una gran cantidad de puntos de control, por lo tanto no es necesario realizar un gran trabajo de campo, ya que en algunas ocasiones resulta complicado el proceso debido a condiciones climatológicas o de acceso.
- La velocidad de trabajo de estos métodos es muy elevada, ya que todo el proceso se realiza con software de manera automática.
- Obtenemos información muy importante y valiosa en el caso de que el elemento a estudiar sufra cambios.
- Se puede utilizar para el estudio de distintas dimensiones, desde dimensiones grandes a pequeñas, dependiendo de los recursos disponibles.
- Tiene gran utilidad para realizar verificaciones en mapas. Las imágenes se pueden comparar con otra de fechas anterior para ver los posibles cambios que se hayan producido.
- Esta metodología se puede utilizar para aplicaciones que otros métodos resultarían imposibles, por ejemplo en zonas en las que no se puede tener acceso

4.3.2 Desventajas de la fotogrametría

- En ocasiones la visión de las superficies es complicada, sobre todo cuando existen árboles o vegetación que evitan obtener imágenes claras.
- Resulta complicado ubicar las curvas de nivel en superficies planas.
- Es de vital importancia la realización de un control de campo.
- Es necesaria la inspección de la zona de la que se quiera obtener la información, ya que hay zonas que tienen una correcta visibilidad.
- La fotogrametría es una técnica que requiere una inversión económica, que en ocasiones puede resultar elevada.
- Para la realización de levantamientos nuevos es necesario obtener fotografías nuevas.

5 METODOLOGIA APLICADA

5.1 CONCEPTOS BASICOS

La fotogrametría de objeto cercano, a lo largo de la historia, ha sido utilizada para la realización de modelados tridimensionales, partiendo de imágenes terrestres. La fotogrametría terrestre es un tipo de fotogrametría utilizada para la captura de medidas geométricas de objetos con un tamaño mayor de 10 cm y un tamaño inferior a 300 metros. Sus principales aplicaciones son la topografía, ingeniería industrial, medicina... (Diccionario terminológico de fotogrametría, 2011).

En concreto, la fotogrametría de objeto cercano se utiliza objetos que tengan un tamaño superior a 10 cm pero menores a 200 metros, de una manera aproximada. Se obtienen unas precisiones sobre 0.1 mm en el campo de la industria, y de 1 cm en el campo arquitectónico. En la figura 16 se puede ver una comparativa entre las distintas metodologías de captura de información en 3D. Esta tabla está basada respecto al tamaño del objeto medido y respecto a la precisión obtenida (Luhmann, Robson, Kyle, & Boehm, 2013).

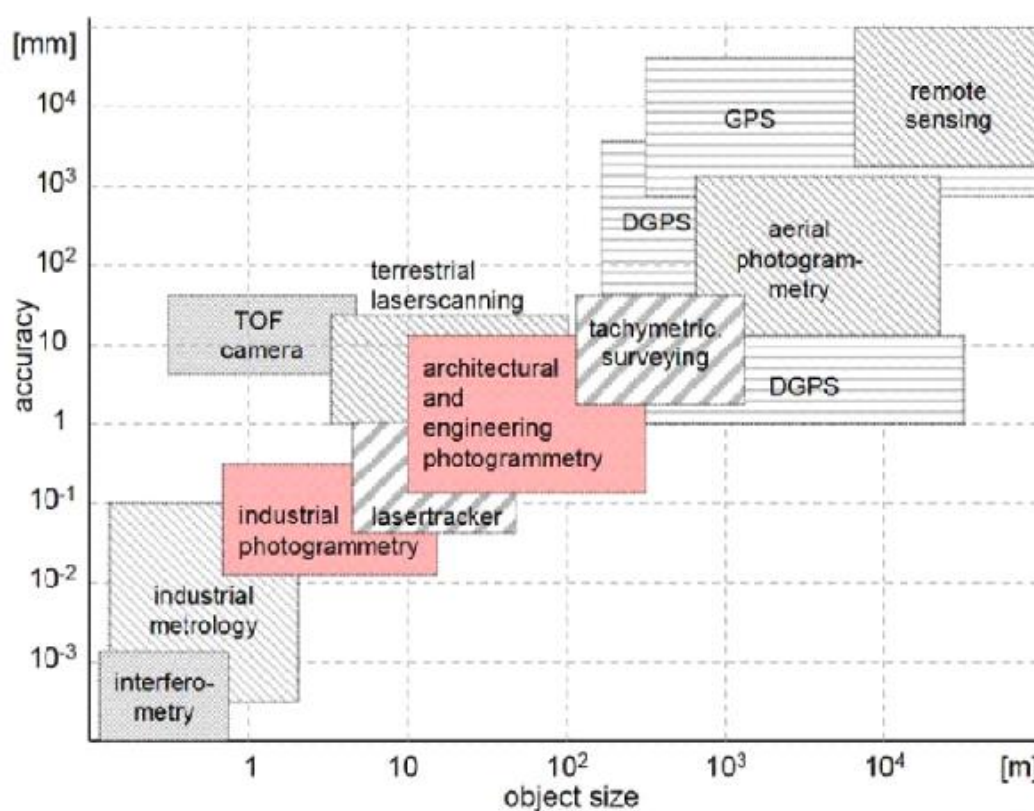


Figura 16: Relación entre el tamaño del objeto medido, precisión de medición requerida y tecnología relevante (Luhmann et al., 2006).

5.2 CARACTERISTICAS GENERALES

A continuación, se van a exponer las principales características que tiene la fotogrametría de objeto cercano.

- La configuración de las imágenes se estudia de una manera que se tenga una vista completa de los puntos del objeto de estudio.
- Las imágenes son tomadas a una distancia relativamente corta.
- El mismo punto puede aparecer en varias imágenes.
- El mismo punto puede aparecer en dos profundidades diferentes. Para esto, es necesario tener claro el proceso de captura de información, para obtener todos los puntos de una manera precisa.
- El sistema de coordenadas es completamente arbitrario. Los sistemas de coordenadas suelen generarse de manera que se adapten al objeto.
- Se necesita información geométrica para poder realizar el escalado y obtener un buen dimensionado.
- Se pueden utilizar cámaras comerciales al alcance de cualquier persona. No es necesario una cámara especializada ni con los únicos propósitos para realizar este tipo imágenes. Sí que será necesario realizar una calibración de la cámara.

5.3 APLICACIONES

La fotogrametría de objeto cercano tiene una gran cantidad de aplicaciones de variedad de campos. Esto es debido a que tiene relación con todo tipo de disciplinas.

La fotogrametría de objeto cercano es una metodología recomendada en los siguientes casos:

- El objeto a estudiar tiene un acceso complicado.
- Son necesarias las dimensiones de manera instantánea.
- El objeto no tiene una rigidez suficiente.
- Es un objeto con unas dimensiones pequeñas
- Cuando se requieran altas precisiones
- El tiempo de obtención de la información es muy limitado.
- No se pueden realizar dimensiones directamente en el objeto a estudiar.
- Es necesario el estudio de un gran número de puntos.
- Son necesarios resultados en un plazo de tiempo muy corto.
- Son necesarios los datos para realizar una comparación en el futuro.

La fotogrametría de objeto cercano se puede utilizar en una gran cantidad de aplicaciones, tanto para ingeniería civil o mecánica, como para arquitectura, arqueología, medicina, cinematografía...

5.4 METODOLOGIA PROPUESTA PARA EL CAMPO INDUSTRIAL

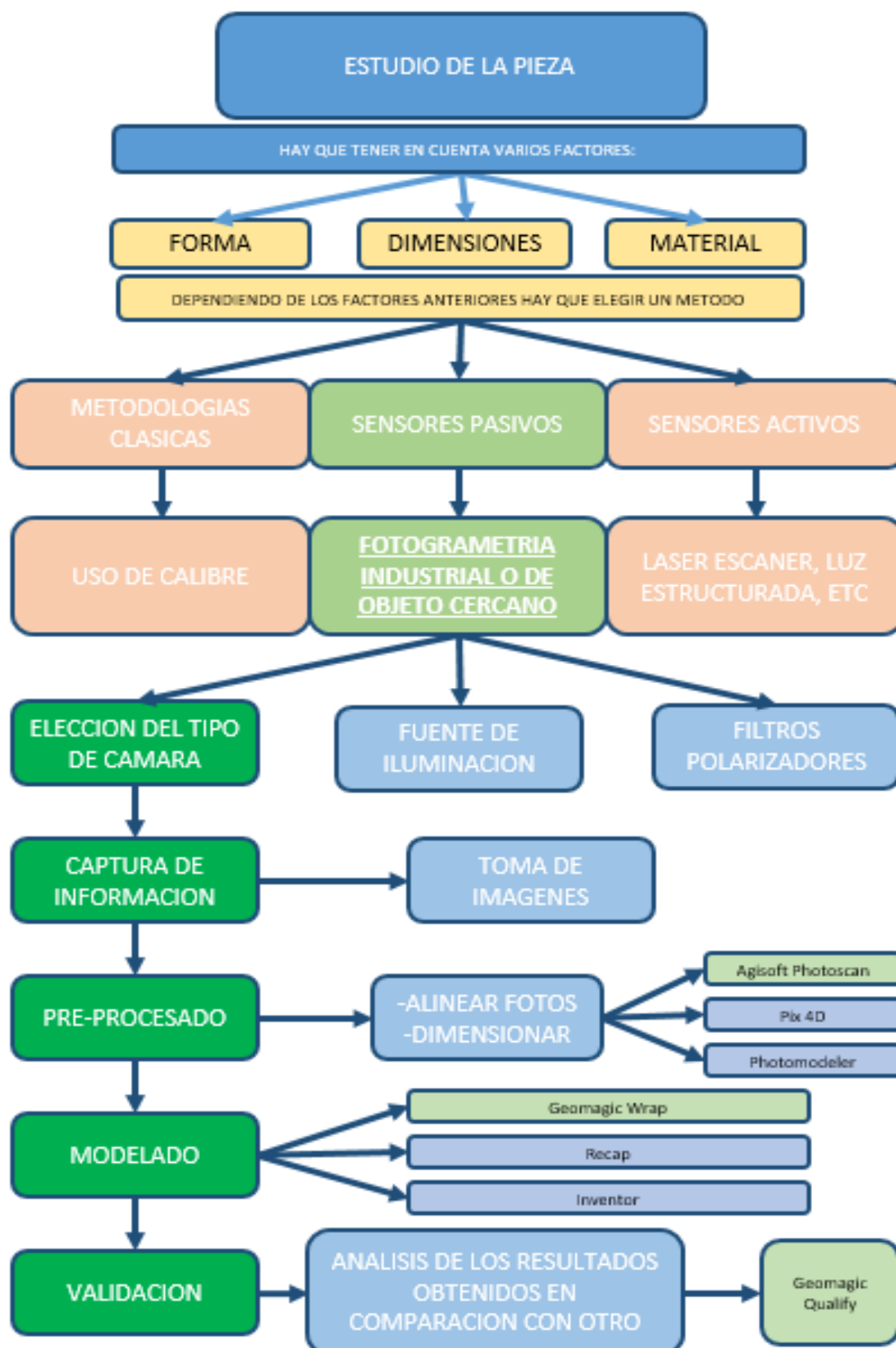


Figura 17: Modelo de trabajo.

Lo primero y primordial es realizar un estudio de la pieza con la que vamos a trabajar. Para ellos se debe de estudiar su forma, es decir, si tiene una forma sencilla o una forma compleja, sus dimensiones, es decir, si es de pequeñas dimensiones o es una pieza de un tamaño considerable, y finalmente su material.

En base a estos factores estudiados previamente, se elige un método u otro, dependiendo el que mejor se ajuste a dichos factores.

En este caso, como la pieza tiene una forma compleja, y un tamaño pequeño, se ha optado por emplear sensores pasivos. Para ello se hace una elección del tipo de cámara, una elección de fuente de iluminación, y una elección del filtro polarizados.

Con todo lo anterior ya se puede proceder a realizar el trabajo, comenzando por la captura de las imágenes, que consiste es hacer fotografías desde distintas posiciones barriendo todas las zonas de la pieza. Seguimos con el procesado de dichas imágenes, alineándolas y dimensionando. Después ya se puede llevar a cabo el modelado, en este caso se ha utilizado el Geomagic Wrap.

Y para finalizar, es necesario hacer una validación del método. Para ello, se procede a realizar una comparación del modelo creado mediante fotogrametría con otro modelo creado mediante una metodología clásica, como es el uso del calibre.

6 MATERIAL UTILIZADO

6.1 CAMARA Y ACCESORIOS

La configuración usada fue la A7 con un objetivo de 90mm. La cámara utilizada para la toma de imágenes ha sido una Sony A7 R Mark ii. Esta cámara combina el primer sensor de imagen CMOS del mundo de fotograma completo de 35 mm, 42,4 MP y retroiluminación, enfoque automático híbrido rápido, estabilización de imagen de 5 ejes y grabación de vídeos 4K avanzada, con la sensibilidad y la velocidad necesarias para mantener la nitidez de cualquier sujeto, incluso a gran velocidad. La familia ampliada de lentes y otros accesorios saca el máximo partido a su resolución incluso en condiciones extremas.



Figura 18: Cámara Sony A7 R-Mark ii (<https://www.ephotozine.com/article/sony-alpha-a7r-ilce-7full-review-23186>)

Esta cámara cuenta con las siguientes características:

- Compatibilidad con lentes: lentes con montura tipo E de Sony
- Compatibilidad con lentes: lentes con montura tipo E de Sony
- Tipo de sensor: Fotograma completo de 35 mm (35,9 x 24 mm), sensor CMOS Exmor R®.
- Numero de pixeles (efectivos): 42,4 MP

- Sensibilidad ISO (Índice de exposición recomendado): Fotografía: ISO 100-25.600 (ampliable a ISO 50–102.400 para la captura de fotos), AUTO (ISO 100 a 6.400, límite inferior y límite superior seleccionable), Vídeo: equivalencia con ISO 100-25.600, equivalencia con AUTO (ISO 100-6.400, límite inferior y superior seleccionable)
- Duración de batería: 290 disparos aprox. (visor)/340 disparos aprox. (pantalla LCD) (estándar CIPA)
- Tipo de visor: Visor electrónico OLED XGA (color) de 1,3 cm (tipo 0,5)
- Tipo de monitor: Unidad TFT de 7,5 cm (tipo 3,0)

El objetivo utilizado ha sido un objetivo de 90 mm SEL90M28G.

Las características de este objetivo son:

- Montaje: Montura tipo E de Sony
- Formato: Fotograma completo de 35 mm
- Distancia focal: Montura tipo E de Sony
- Distancia total equivalente a 35 mm (APS-C): 135mm.
- Grupos / Elementos de lente: 11/15
- Angulo de visión: 27°
- Angulo de visión (APS-C): 17°
- Apertura máxima (F): 2,8
- Apertura mínima (F): 22
- Hojas de apertura: 9
- Apertura circular: Si
- Distancia de enfoque mínima: 0,28 m (0,92 pies)
- Relación de ampliación máxima (X): 1,0x
- Diámetro de filtro (mm): 62mm
- Estabilización de imagen: SteadyShot óptico

Para procederá al dimensionamiento de la pieza se ha utilizado una regla con escala ABFO. La escala ABFO nº 2 es lineal, rígida, con forma de L y con tres círculos pintados en sus extremos. La incorporación de estos círculos a la escala fue propuesta por la American Board of Forensic Odontology para permitir valorar con precisión el ángulo de la fotografía y permitir corregir en el proceso de impresión cualquier distorsión causada por una angulación inadecuada.

Para este proyecto se ha fabricado manualmente dicha regla, utilizando dos reglas, una superpuesta sobre otra, formando un Angulo de 90°.

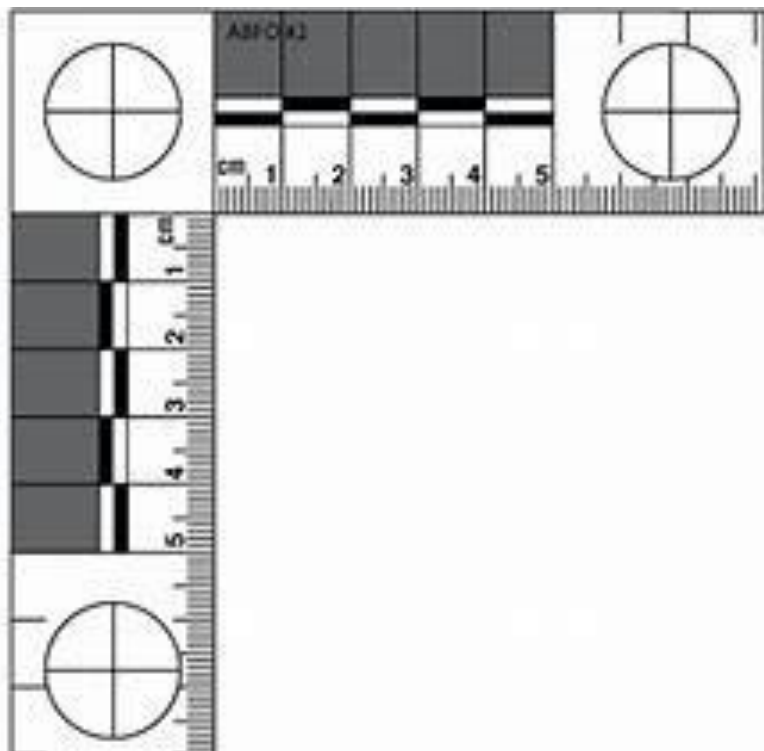


Figura 19: Imagen de una escala ABFO.



Figura 20: Escala ABFO utilizada en la realización de las fotos.

Con el fin de evitar destellos en la imagen producidas por la propia pieza, ha sido necesario la utilización de un anillo de luz. Los anillos de luz se utilizan para obtener una iluminación uniforme, de manera que no haya sombras y así poder apreciar todos los detalles con claridad. Los anillos de luz se utilizan para la toma de fotografías a corta distancia.

El anillo que se ha usado es el anillo F&V HDR-300 LED, cuyas características son las siguientes:

- Iluminación: 1950 lx
- Angulo de haz: 65°
- Índice de reproducción cromática: 85
- Variación de energía: 0-100% □
- Voltaje de funcionamiento: 5.8-16.8 V
- Diámetro interior: 95 mm,
- Fuente de alimentación: Placa NP-F de la batería (5.8-16.8 V)/DCf2.5 Jack (10-18 V)
- Duración de la batería: 45 minutos
- Dimensiones: 20.8x20.2x4.3 cm (8.1x7.9x1.7 ") □
- Peso: 350g (12.34 oz)

Un problema que nos encontramos es que, debido al tipo de superficie de las piezas, al tomar las fotografías había muchos destellos, y no se diferenciaban unas zonas de otras. Para solucionar esto fue necesario utilizar un filtro polarizador, y también un cubo de luz.

Un filtro polarizador es un filtro que se coloca delante del objetivo, con lo que se consigue eliminar los brillos y los reflejos, y también saturar los colores. Con esto se consigue diferenciar las distintas zonas de una manera más clara.

El filtro utilizado es un filtro polarizador de película lineal ST-38-40.

Las características de dicho filtro son:

- Dirección de polarización: 0°-90°
- Dimensiones: 200x200x0,4 mm
- Transmisión: 42%
- Grado de polarización: 99,98%
- Rango espectral: 400-700 nm



Figura 21: Anillo de luz utilizado

Otro de los elementos a utilizar ha sido un cubo de luz. Los cubos de luz son un tipo de caja flexible que se emplea para iluminar diferentes productos reflectantes que producen muchos brillos ya que genera luz suave difusa e indirecta.

Se ha utilizado un cubo de luz PMS 80x80x80 cm

En ocasiones y dependiendo del tipo de superficie que presente la pieza, hay que introducir ruido en la imagen que se puede llevar a cabo con botes de spray especialmente preparados para ese fin o recurrir a los típicos polvos de talco que distribuidos irregularmente sobre la imagen producen el mismo efecto.

Se trata de una técnica muy rudimentaria pero muy efectiva a la vez. Al espolvorear polvos de talco encima de las piezas, se consigue meter ruido en las imágenes, por lo que se diferencian mejor las zonas a la hora de generar el modelo.

6.2 SOFTWARE UTILIZADO

6.2.1 AGISOFT PHOTOSCAN (Versión DEMO)

Agisoft Photoscan es un programa para ordenadores que se utiliza para llevar a cabo el procesamiento de imágenes digitales, que, combinando técnicas de distintos tipos de fotogrametría, es capaz de generar una construcción tridimensional.

Hay dos versiones distintas de este programa.

Existe una versión estándar, que es la generalmente utilizada para la generación de nubes de puntos a partir de una serie de imágenes.

También existe la versión profesional, que contiene una mayor cantidad de herramientas para la relación de mejores modelados.

Este software utiliza sistemas de referencia cartográficos estándar. Por estas características, este programa es el correcto para la obtención de información tridimensional de todo tipo de elementos, desde edificios, pasando por yacimientos arqueológicos, hasta para pequeñas piezas en el campo industrial. Se puede utilizar tanto para información obtenida de una manera terrestre como de una manera aérea. Tiene la característica de exportación a una gran cantidad de formatos. (<https://www.scientec.com.mx/agisoft-photoscan/>)

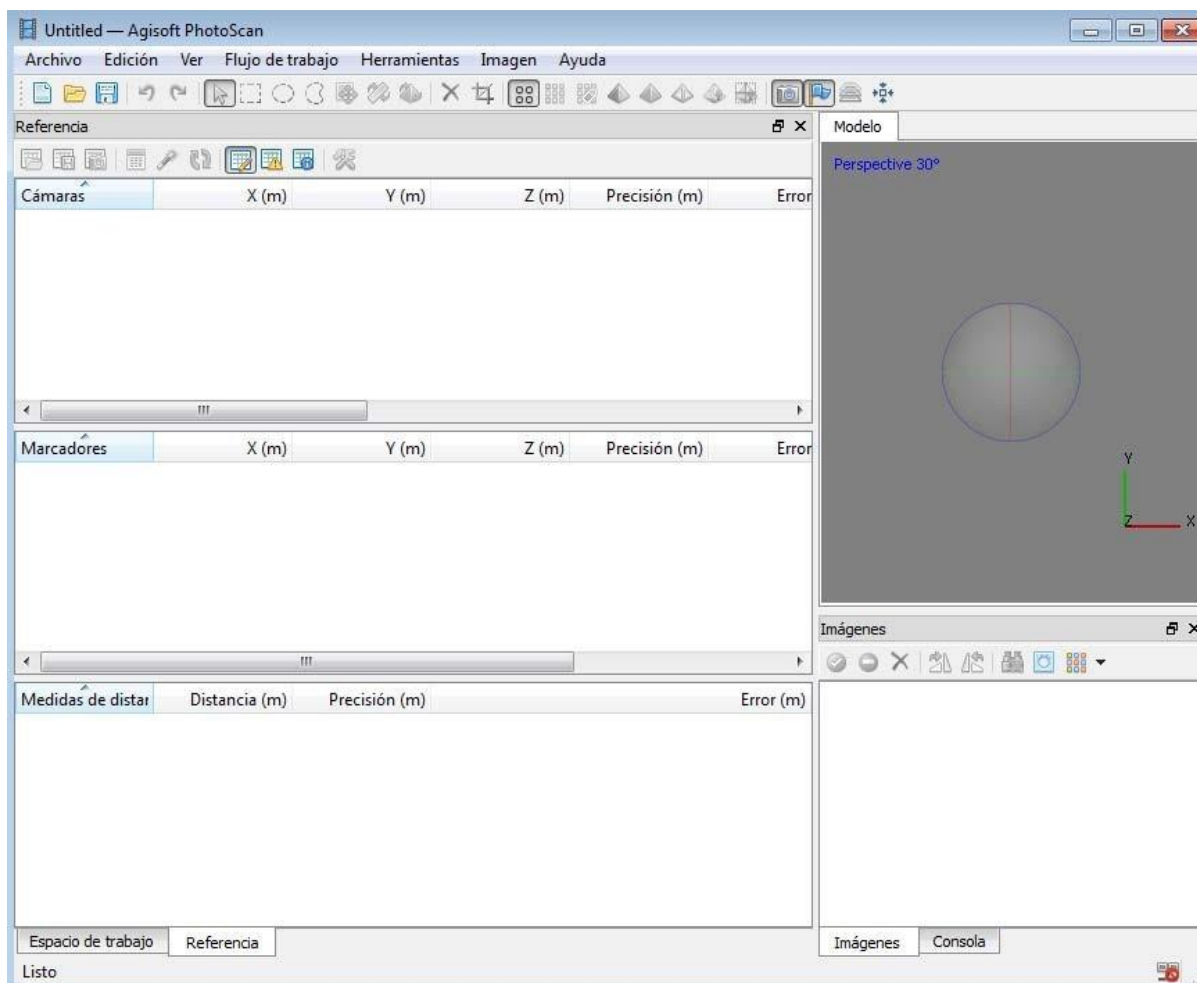


Figura 22: Software Agisoft PhotoScan.

6.2.2 GEOMAGIC WRAP

Geogemagic Wrap es un software que contiene unas herramientas que permiten la obtención de superficies exactas o planas, es decir, permite parametrizar superficies. Esto facilita a los usuarios transformar los datos obtenidos de manera tridimensional para su utilización en un corto periodo de tiempos y sobre todo de una manera sencilla.

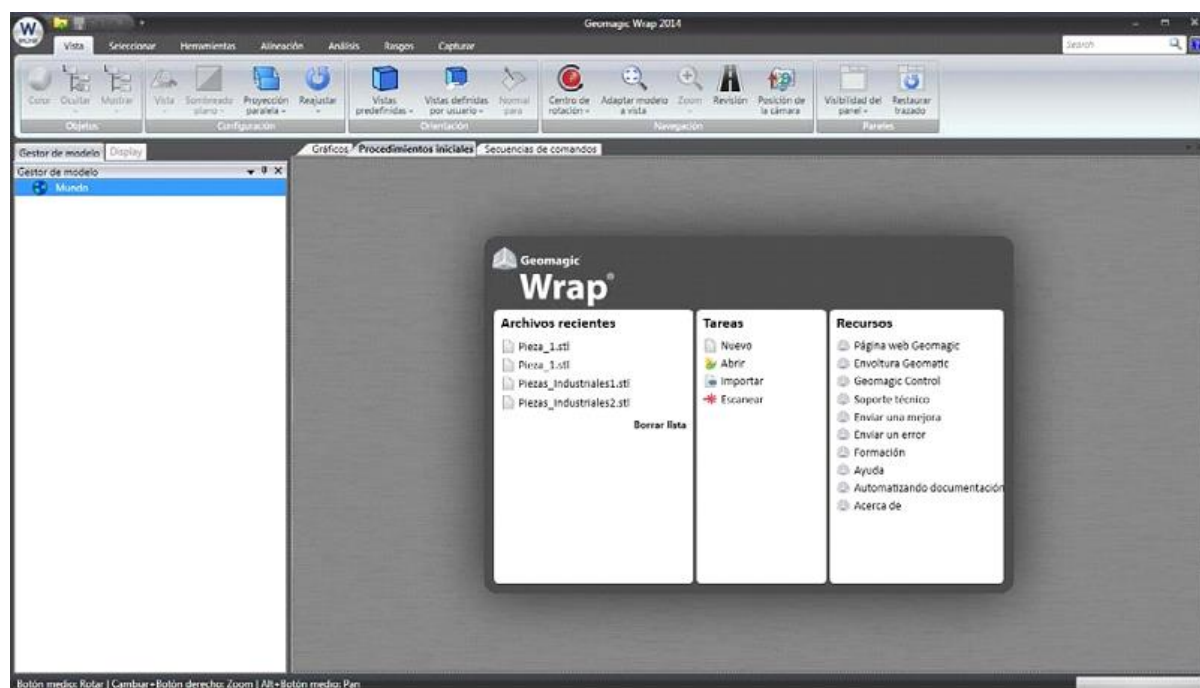


Figura 23: Software Geomagic Wrap.

Este software contiene una serie de herramientas que mejoran el flujo de trabajo. Se permite la realización, a partir de nube de puntos, de modelos tridimensionales. Se crean datos con una elevada calidad, para ser exportados para su procesado en otro tipo de campos. Permite la exportación en una gran cantidad de formatos. (<https://www.artec3d.com/es/3d-software/geomagic-wrap>)

Las principales características de este programa son:

- Su potente herramienta Remesh para la creación rápida y precisa de modelos de polígonos limpia a partir de datos de escaneo sin formato.
- Incluye herramientas de edición de polígonos para el relleno de agujeros, suavizado, parchado y creación de modelos precisos.
- Extracción de curvas y características duras desde cuerpos de polígonos para el diseño a partir de aplicaciones de datos de escaneo.
- Capacidad para exportar archivos en una variedad de formatos populares, incluyendo: WRP, IGES, X_T, SAT, PFácil edición de nube de puntos y creación rápida de modelos poligonales precisos basados en datos de escaneo 3DRC, Step, VDA, NEU, 3ds, dxf, oogl, iv, ply, stl, wrl y obj.
- Permite la utilización instantánea de los datos de Geomagic Wrap para impresión 3D, creación rápida de prototipos y producción.
- Admite una amplia gama de dispositivos de exploración 3D sin contacto y sondas.

6.2.3 ADOBE LIGHTROOM

El adobe Photoshop Lightroom es un tipo de programa, que está diseñado para prestar ayuda a fotógrafos y gente que utilice imágenes digitales y tenga la necesidad de tratarlas. Este programa permite la edición de las imágenes. Su principal característica es que permite el revelado de dichas imágenes. Esto se traduce en un aumento significativo en la calidad de las imágenes, sobre todo el balance de blancos, en la mejora de los tonos, balances de color, eliminación de ojos rojos, eliminación de ruido, aumentos o reducciones de contraste,... Otra característica importante es que tiene la capacidad de sincronizar los ajustes que se han hecho en una imagen, para volver a realizarlos en una serie de imágenes que contengan características similares. (https://www.ecured.cu/Adobe_Photoshop_Lightroom)

6.2.4 AUTODESK INVENTOR

Autodesk Inventor es un tipo de programa que se utiliza para la realización de diseños de tipos mecánicos avanzados en formato tridimensional, con un modelado paramétrico, libre y directo. Una de las propiedades de este software es que permite la realización de bocetos, piezas, y ensamblajes. También tiene una herramienta para realizar simulaciones elementos finitos, movimiento de piezas, moldeos,...

Con este programa, los ingenieros pueden llevar a cabo sus proyectos e ideas para su reproducción en la vida real. Además, este programa nos permite realizar validaciones, en función de la resistencia, desde el principio del diseño hasta su fin. Se puede generar geometrías en forma de superficies y en forma de sólidos.

A lo largo de los años su tecnología ha evolucionado, para que sea más sencillo la recreación de geometrías con formas más complejas. Este programa permite la creación de todo tipo de piezas, para posteriormente hacer en ella los cambios que sean necesarios. En el caso de tener una serie de piezas, se pueden ensamblar, para ver la manera en la que interactúan unas piezas con otras. (<https://www.autodesk.es/products/inventor/overview>)

7 PROCESO DE REPRODUCCION DE LAS PIEZAS

En este apartado se realiza una explicación de cómo se ha llevado a cabo todo el proceso para realizar este proyecto, paso a paso.

7.1 REGISTRO

La correcta captura de las fotos es el primero y más importantes de los pasos que son necesarios para realizar el modelado. Un buen registro de la información en el que se cubra todas zonas de la pieza, evitando zonas muertas, y sin distorsiones radiométricas es fundamental para poder llevar a cabo un buen procesado de la misma. En primer lugar, es necesario preparar todo el material a utilizar, desde la cámara y todos sus accesorios, hasta las piezas. Los diferentes elementos involucrados en la captura de la información están contenidos en el apartado 6 de este documento. Una vez calibrada la cámara es necesario aplicarle una serie de accesorios, un anillo de luz y un polarizador en el anillo. Polarizamos la luz tanto en el anillo como en el objetivo ya que al polarizar la luz lo que hacemos es focalizar la luz en una determinada dirección.



Figura 24: Registro de las piezas.

El objetivo no es otro que evitar los brillos y destellos propios de piezas metálicas. La presencia de brillos genera grandes problemas durante la fase de procesado de la información. Las piezas hubo se introducen en el interior de un cubo de luz, tal y como se puede apreciar en la Figura 23, que evita la entrada de luz del exterior. Hay que tener en cuenta que las mejores condiciones para capturar la información son en una habitación totalmente a oscuras. Otro de las cosas importantes a tener en cuenta es la homogeneidad de la pieza por lo que fue necesario introducir discontinuidades en su superficie espolvoreando polvos de talco. El propósito es diferenciar las diferentes zonas o caras de la imagen. Una vez descritas todas las especificaciones técnicas de la cámara (apartado 6.1) es necesario indicar que se utilizó un trípode con el fin de garantizar que todas las tomas se realizaban de la misma manera y con la misma distancia al elemento en cuestión. Las fotos se toman desde una aplicación móvil para evitar posibles movimientos a la hora de apretar el botón de la cámara. Una vez situada la cámara, se coloca delante el cubo de luz. En el interior se colocan las piezas. Se sitúa de tal manera que el polarizador del objetivo capture solamente la luz que incidía sobre la base giratoria en la que se coloca la pieza. Para tomar las fotos se gira la base los 360° y se giran las piezas para capturar todos sus elementos significativos. Gracias a esto se consigue obtener una gran cantidad de fotos de todas las zonas de las piezas y desde distintos ángulos, para que sea más fácil proceder a su procesado. En la fase de registro se han encontrado bastantes problemas con la válvula a motor y el casquillo ya que su superficie perfectamente pulida, su brillo y la forma del elemento han resultado ser un hándicap para los programas de procesado de información fotográfica.

7.2 PROCESADO

Para la realización del procesado de las imágenes tomadas, se ha utilizado un software llamado Agisoft Photoscan. Es un programa de ordenador que permite llevar a cabo la alineación y orientación de imágenes para posteriormente generar modelos. Para su correcta utilización sería necesario un ordenador de elevada potencia, ya que se sino no podremos obtener modelados de alta calidad. Se ha utilizado este programa en lugar de los otros que podrían ser utilizados, por el motivo del fácil acceso que tiene este programa para estudiantes.

El primer paso a la hora de realizar el procesado es obtener el programa. Para ellos entramos en la página web de Agisoft, y de ahí podemos descargar una versión de prueba para estudiantes.

Lo primero que tenemos que hacer es introducir las imágenes al software. Para ellos vamos a la pestaña Flujo de trabajo y hacemos click en Añadir fotos. Vamos al lugar donde tengamos las imágenes guardadas y las seleccionamos. Una vez hecho esto ya tenemos las imágenes cargadas en el programa, y podemos ver dichas imágenes en la parte inferior de la pantalla en una zona llamada Imágenes.

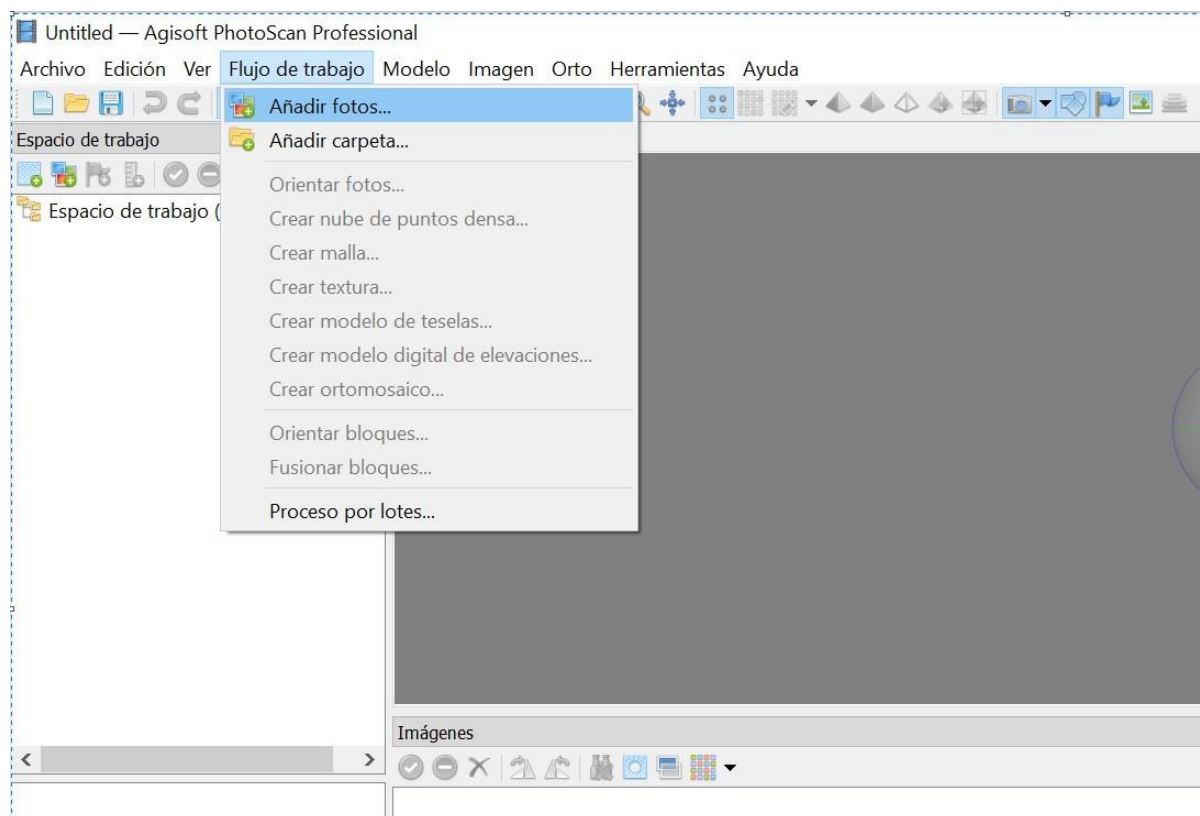


Figura 25: Flujo de trabajo: añadir fotos.

Este software tiene gran versatilidad, ya que nos permite utilizar una gran cantidad de formatos de imagen.

No obstante es necesario realizar un inciso e indicar que todas las imágenes fueron capturadas en RAW y su posterior revelado.

El siguiente paso es la orientación o alineación de las imágenes. Para ellos vamos a la pestaña Flujo de trabajo y hacemos click en Orientar fotos.

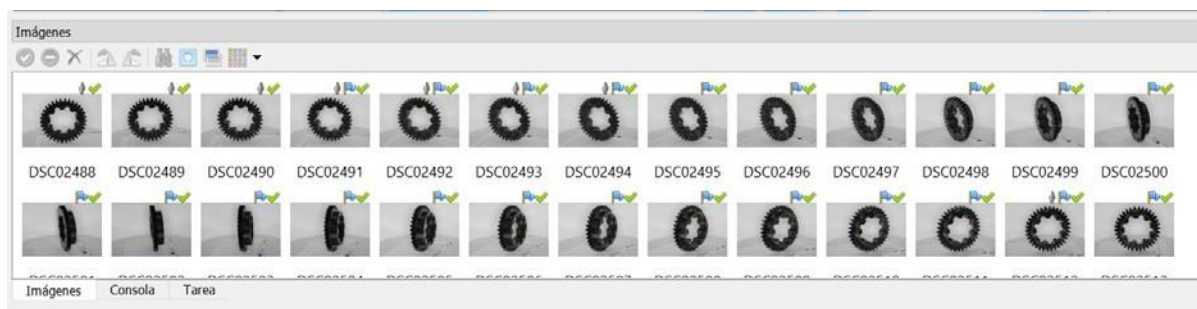


Figura 26: Fotos añadidas.

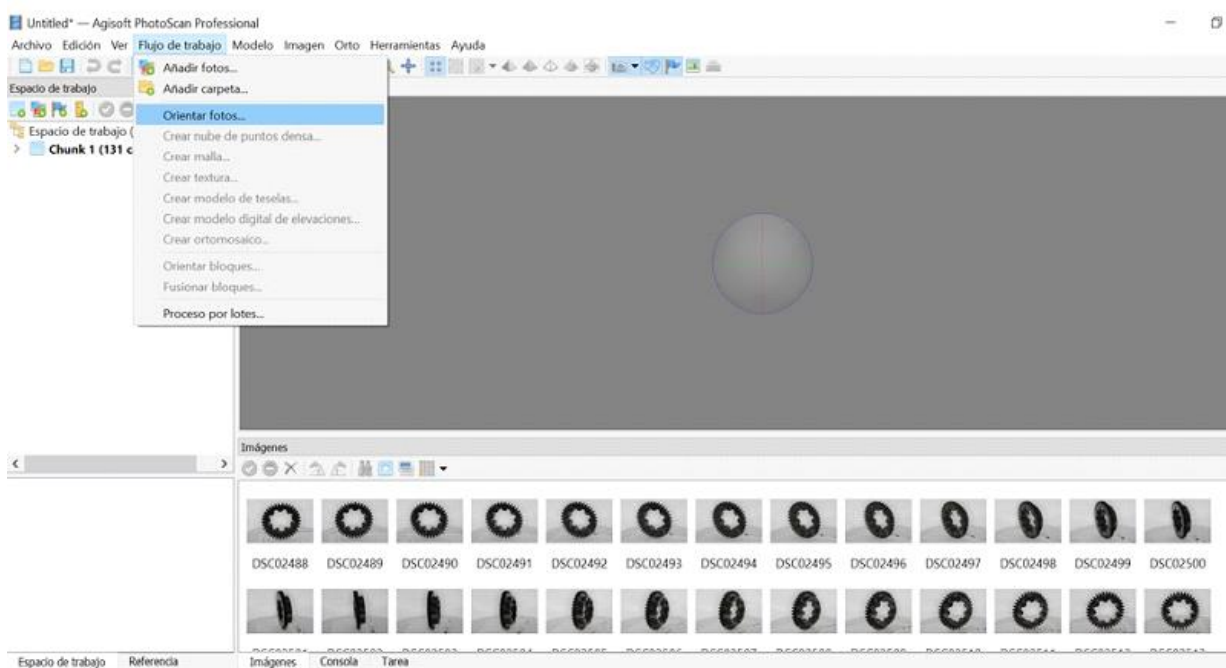


Figura 27: Flujo de trabajo: Orientar fotos.

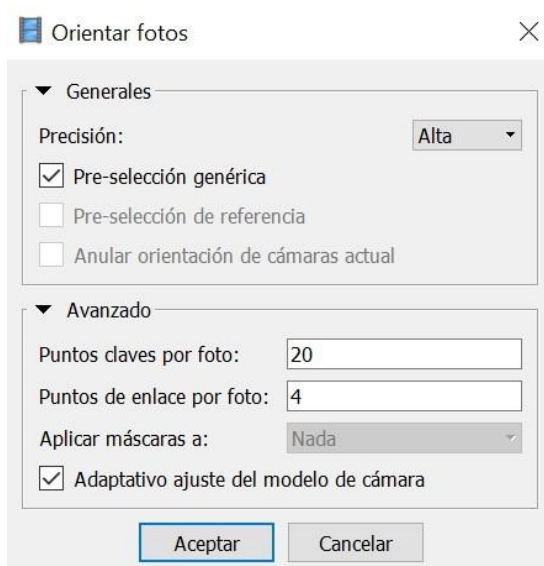


Figura 28: Ventana para la orientación de las fotos

El programa busca puntos homólogos en toda la serie de imágenes y los une. Una vez hecho esto, el programa ya ha generado una nube de puntos.

Cuando haya acabado este proceso ya podemos ver en pantalla las imágenes alineadas y una serie de puntos que van teniendo la forma del modelo que se va a crear.

Además, será necesario calibrar la cámara. Para ello vamos a la pestaña Herramientas y hacemos click en Calibración de cámara.

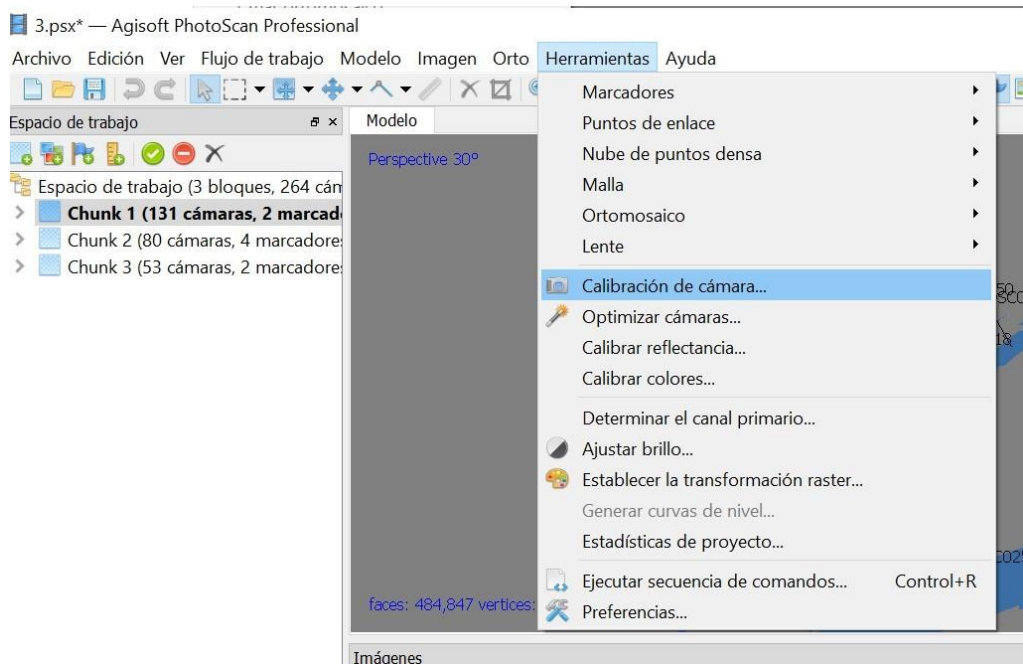


Figura 29: Proceso de calibración de cámara (1).

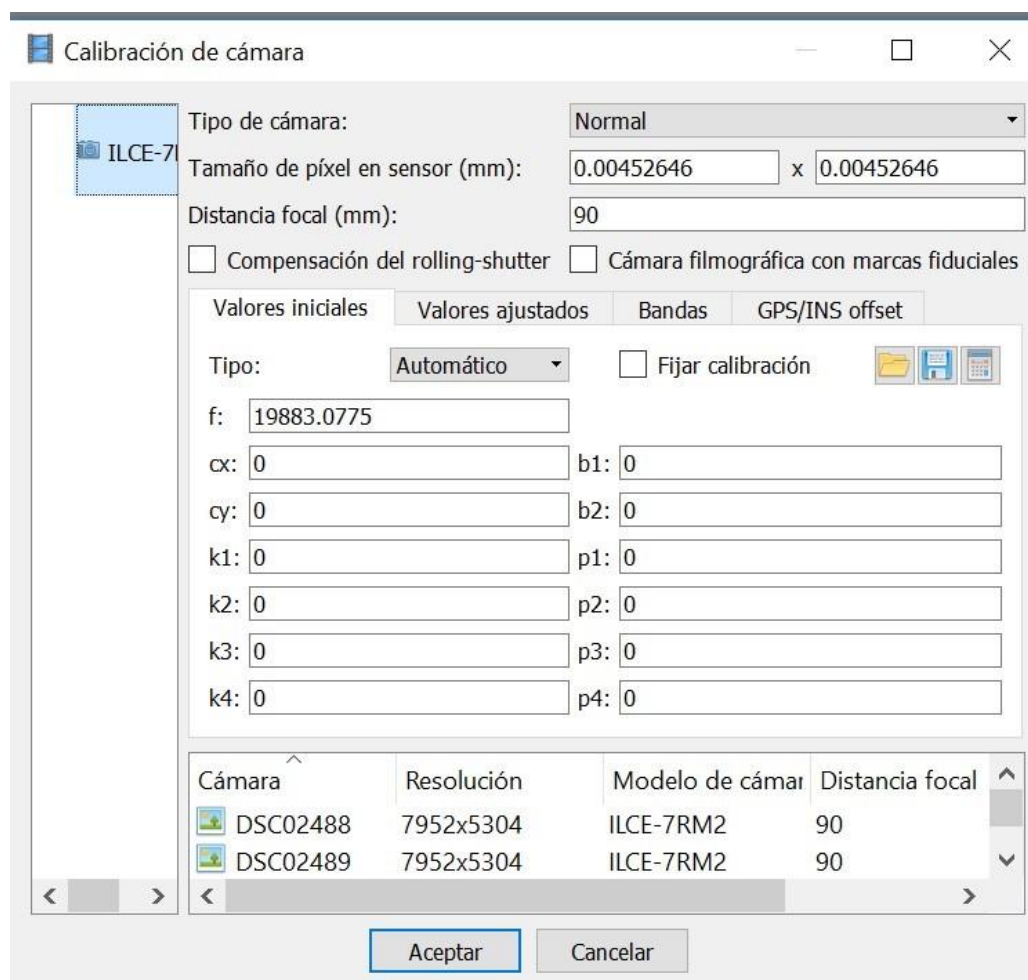


Figura 30: Proceso de calibración de cámara (2).

Para seguir con el proceso hay que borrar los puntos que están fuera de la zona que se va a estudiar. Para esto, tenemos que seleccionar todos los puntos que estén alejados de la nube de puntos que vamos a estudiar y eliminar dichos puntos. En este paso hay que tener cuidado de no borrar más puntos de los necesarios ya que podríamos perder información.

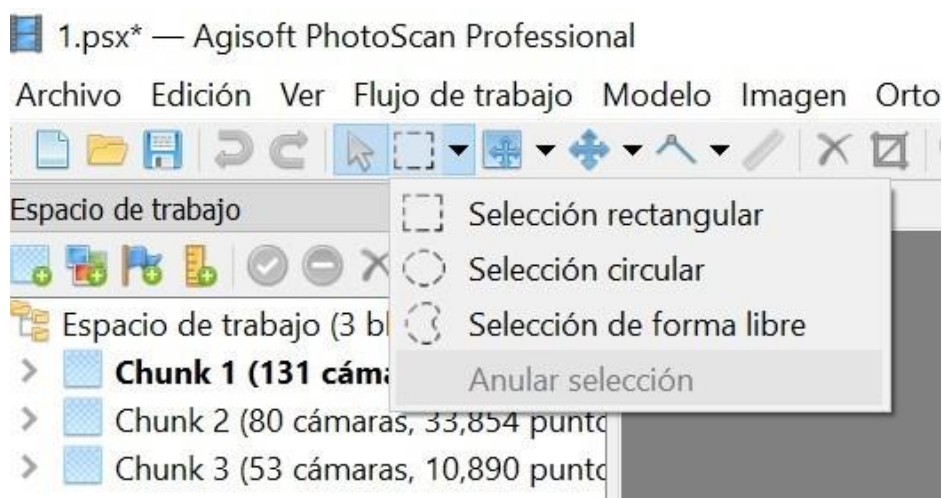


Figura 31: Proceso de eliminación de puntos.

También es importante dimensionar bien el volumen de trabajo, para que el programa tenga que estudiar menos puntos y el proceso sea más rápido. Para ellos seleccionamos la opción Redimensionar volumen de trabajo, y hacemos más pequeño el cubo que envuelve a la nube de puntos, teniendo el mismo cuidado que anteriormente, de no dejar fuera de dicho cubo puntos formen parte del modelo.

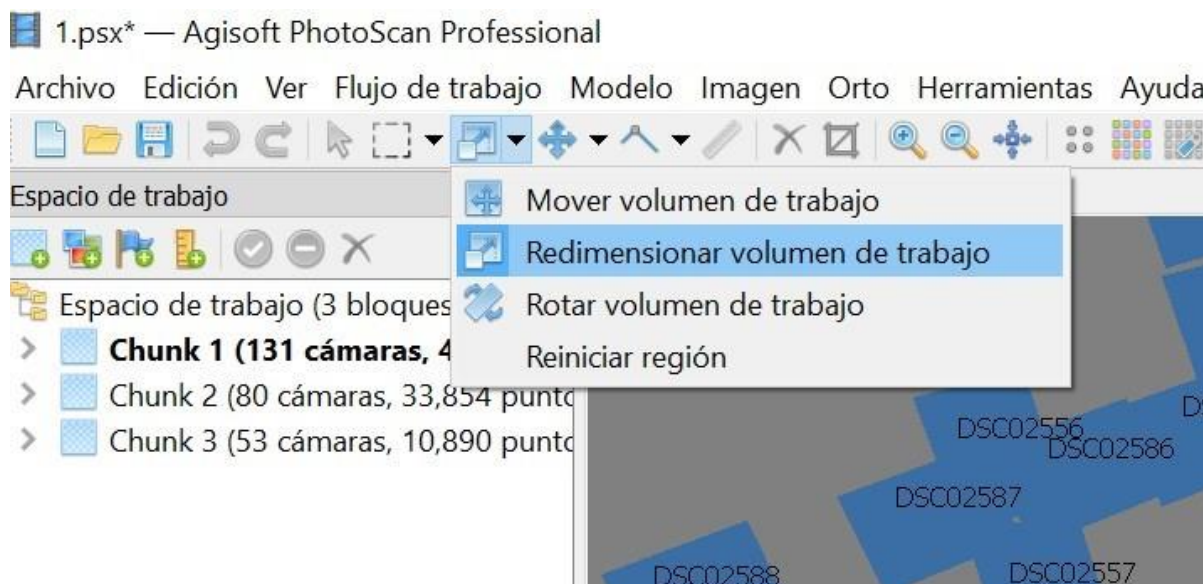


Figura 32: Redimensionamiento del volumen de trabajo.

Una vez hecho esto, podemos proceder a crear la nube de puntos densa. Para ello, en la pestaña de Flujo de trabajo se selecciona la opción Crear nube de puntos densa.

Una vez creada esta nube de puntos densa, ya podemos ver con más claridad el modelo creado, incluso alguno de sus detalles.

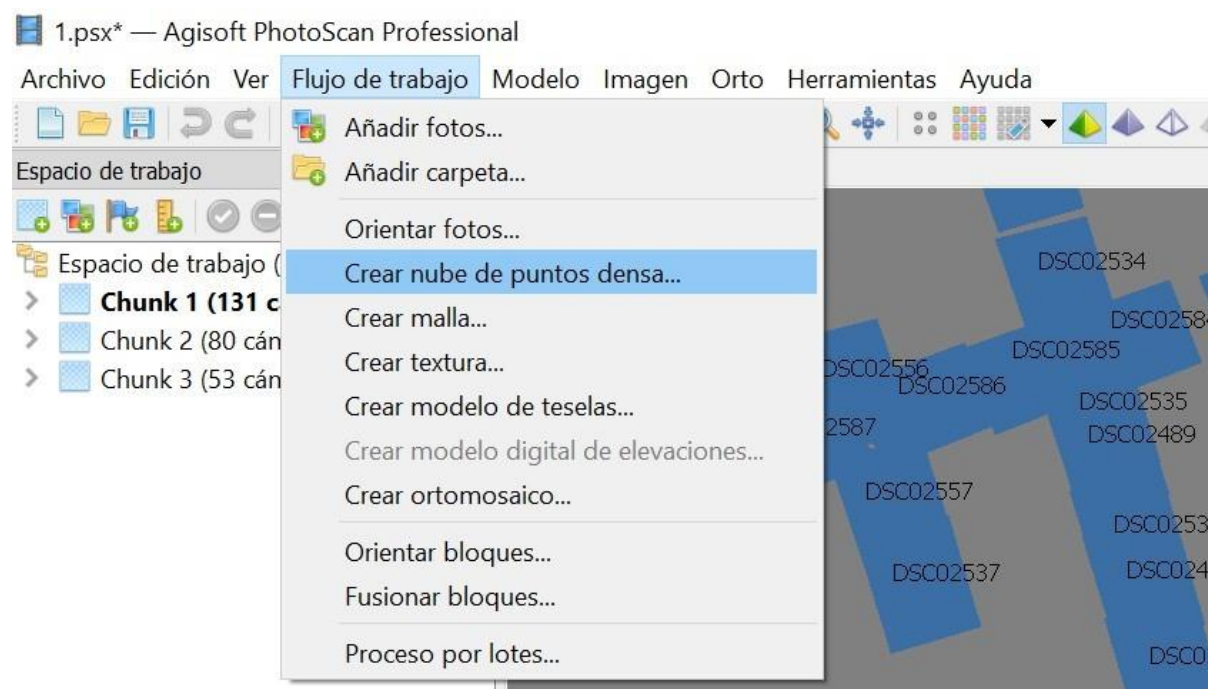


Figura 33: Creación de nube de puntos densa (1).

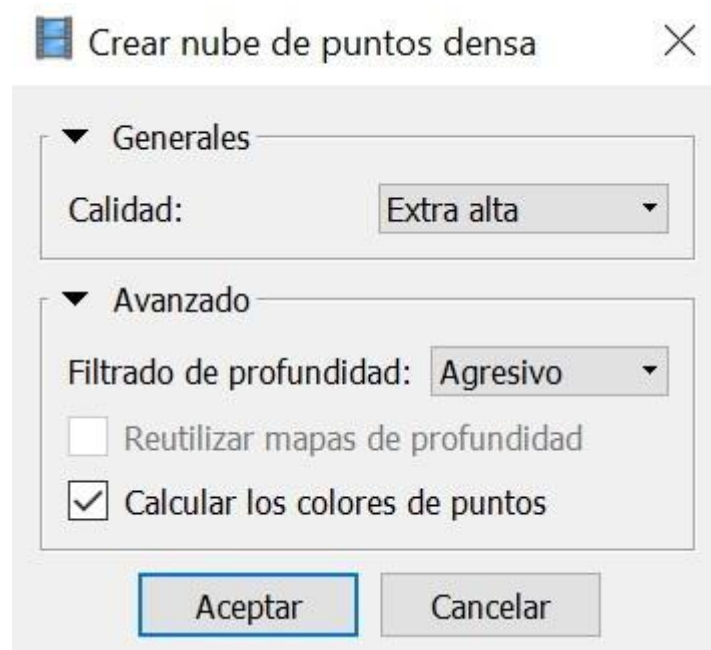


Figura 34: Creación de nube de puntos densa (2).

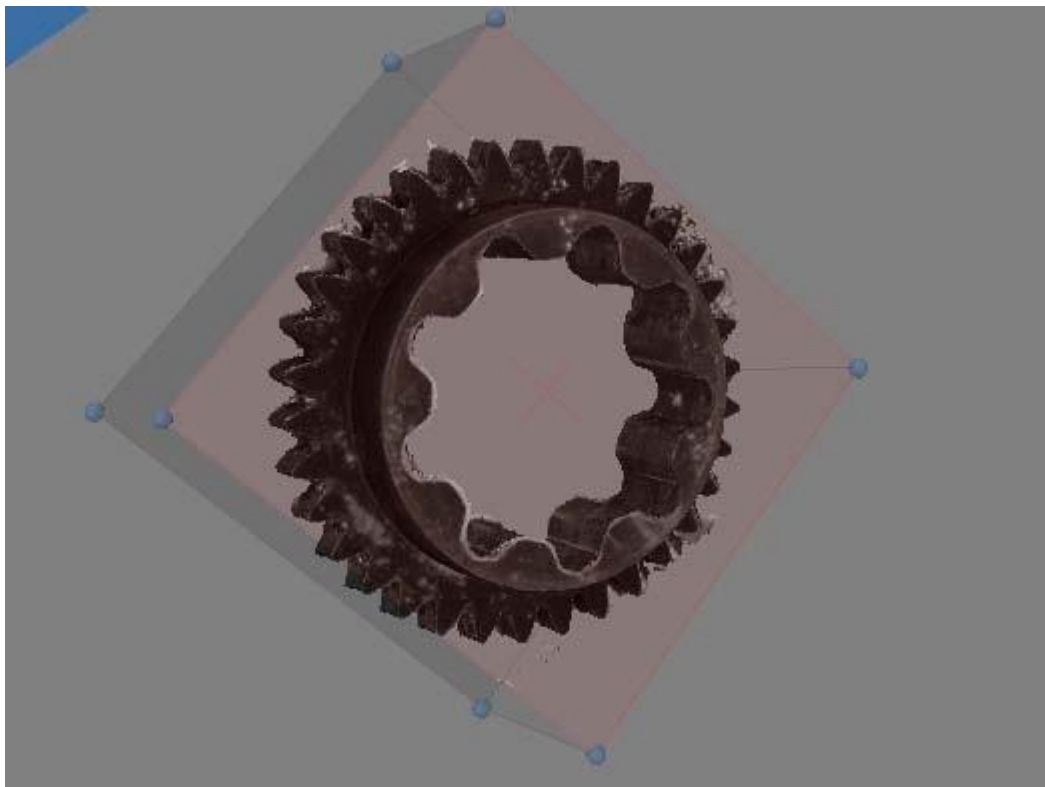


Figura 35: Modelo creado.

Una vez ya tengamos hecha la nube de puntos densa, podemos crear la Malla. Para esto, vamos a la pestaña Flujo de trabajo, y seleccionamos la opción Crear malla. La creación de la malla es lo que más tiempo conlleva ya que es lo de verdad genera un buen modelado.

Para finalizar, tendremos que exportar el modelo a un formato Obj, por ejemplo, para podemos utilizarlo con otros programas posteriormente.

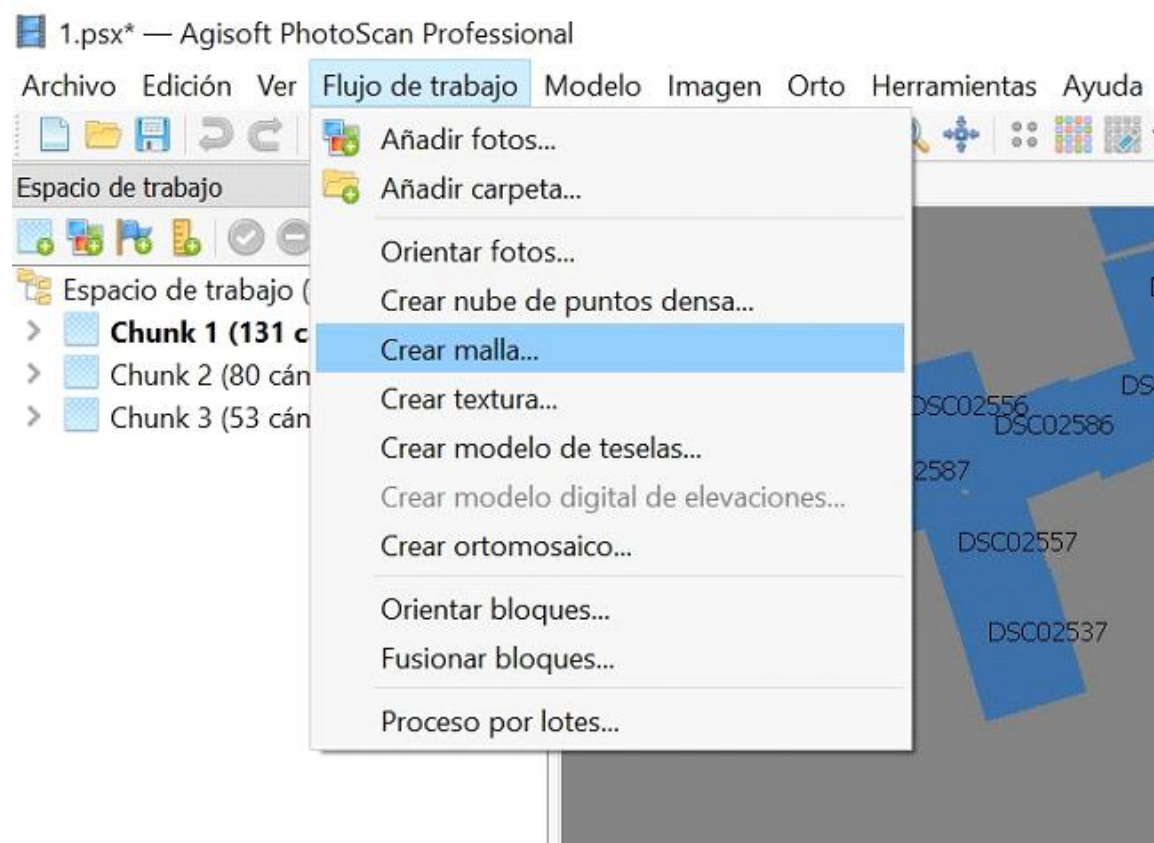


Figura 36: Creación de malla (1).

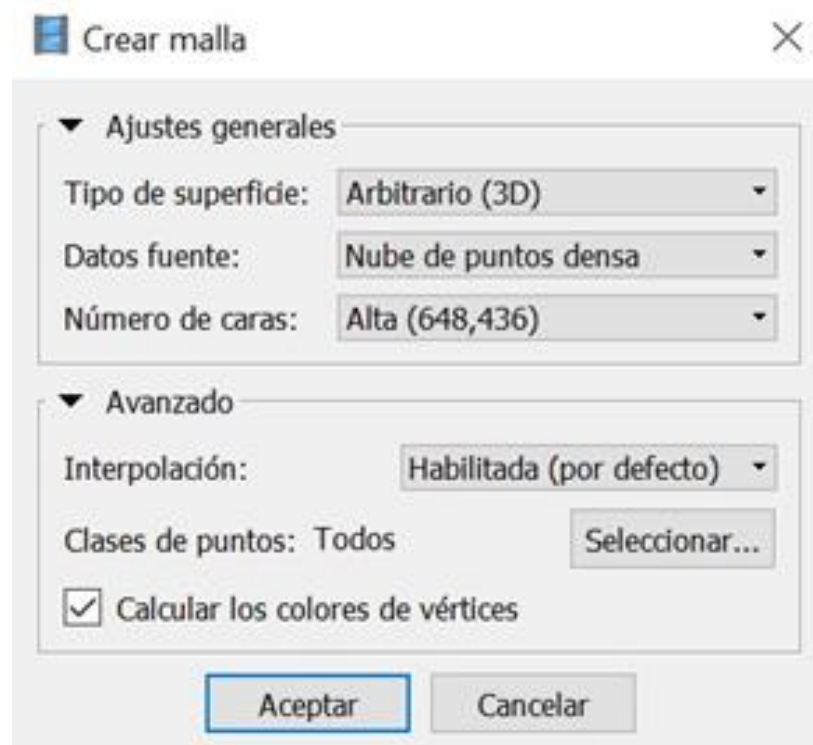


Figura 37: Creación de malla (2).

Una vez conseguido todo el modelo, se exporta al programa Geomagic Wrap, que tiene una aplicación que permite arreglar posibles errores, como agujeros que hayan quedado sin modelar. Para ello es necesario importar el modelo a un formato OBJ., por ejemplo. Una vez abierto, se selecciona la opción “Mesh Doctor”, y posteriormente se hace clic en el modelo, y automáticamente arregla las posibles imperfecciones.

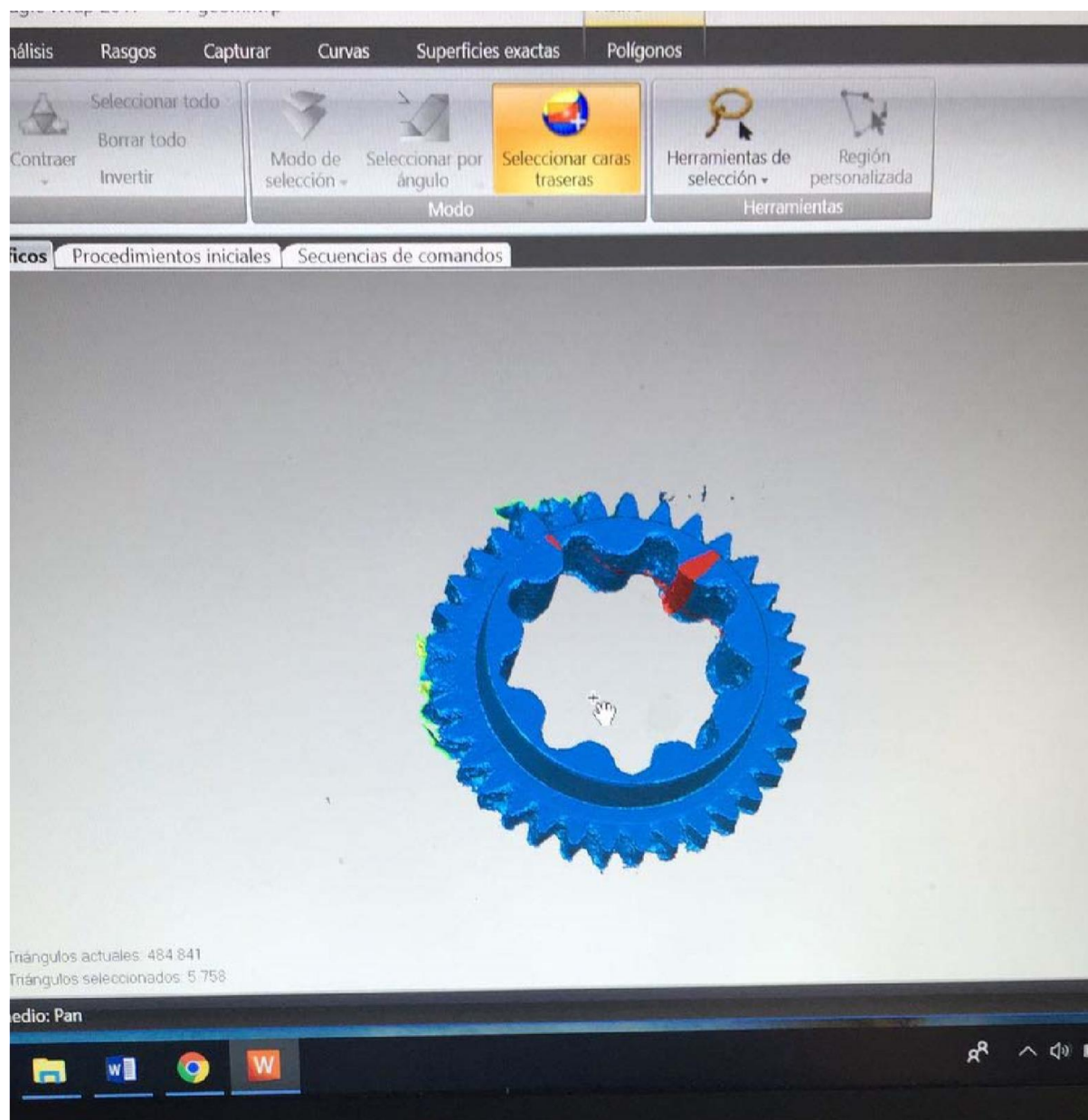


Figura 38: Ejemplo de la pieza modelada en la que vemos imperfecciones.

Otro paso muy importante es la creación de superficies exactas. Para ello, se va a la pestaña de “Exact surfaces”. Se abre una ventana, y hay que aceptar los perfiles creados por nosotros mismos. Una vez aceptado, le damos clic a “Autosurface”, y automáticamente el modelo pasa de estar formado por una malla irregular de pequeños polígonos, a estar formado por unas superficies exactas. Para acabar, se guarda el modelo de nuevo. Una vez

se tenga el fichero, se exporta al programa Inventor. Con este programa, realizando planos de trabajo y secciones, se obtienen unas vistas de las piezas, con las que pueden realizar los planos.

Es importante parametrizar el modelo resultante porque a superficie real tiene tantos polígonos que no sería posible manejarlo en la máquina de reproducción del elemento. Algunas de estas piezas tienen más de 8 millones de triángulos lo que haría inviable poder realizar una reproducción de la misma.

A partir del Geomagic Wrap, podemos se pueden directamente un fichero en formato .STL, con el que poder fabricar las piezas mediante una fresadora o para la generación de planos para la fabricación de los moldes de reproducción de las piezas.

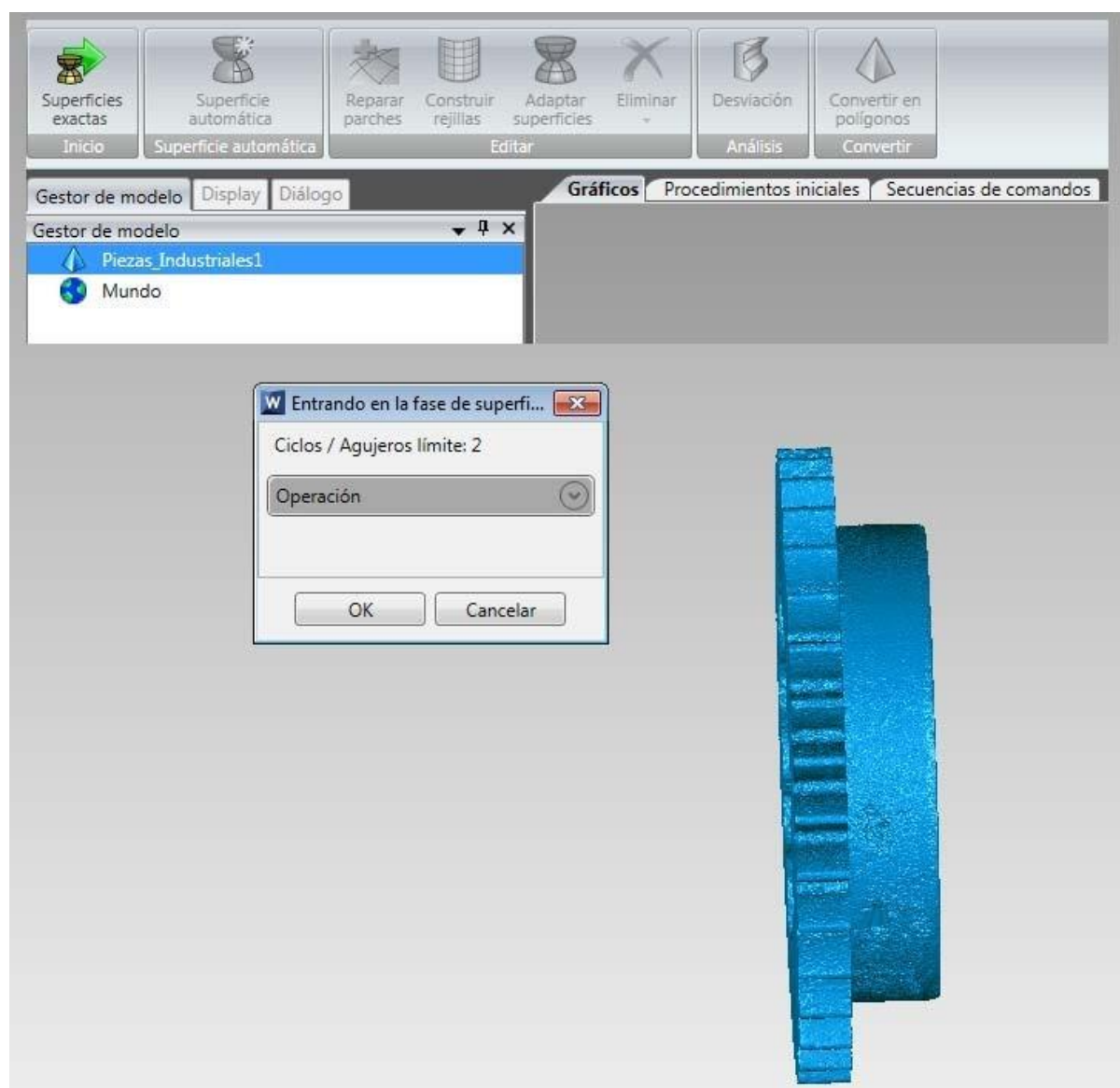


Figura 39: Parametrización para su posterior manejo en Inventor.

8 RESULTADOS

Antes de exponer los resultados obtenidos es necesario volver a incidir en que el objetivo principal de este trabajo es analizar las posibilidades que ofrece la fotogrametría de objeto cercano para la reproducción de piezas industriales descatalogadas.

Por tanto, se parte de la base de que las capturas realizadas y su posterior tratamiento ha sido llevadas a cabo con una resolución (50 micras) bastante superior a las conseguidas por métodos tradicionales como pudiera ser la medición con calibre o por otras metodologías como la del escáner de mano (entorno a las 200 micras).

Es necesario indicar que durante el proceso de captura la resolución obtenida es bastante mejor que la del modelo planteado. El motivo de dicha pérdida de resolución estriba en la fase de pre-procesado y procesado propiamente dicho ya que requería de un ordenador con unas capacidades de las que no disponía.

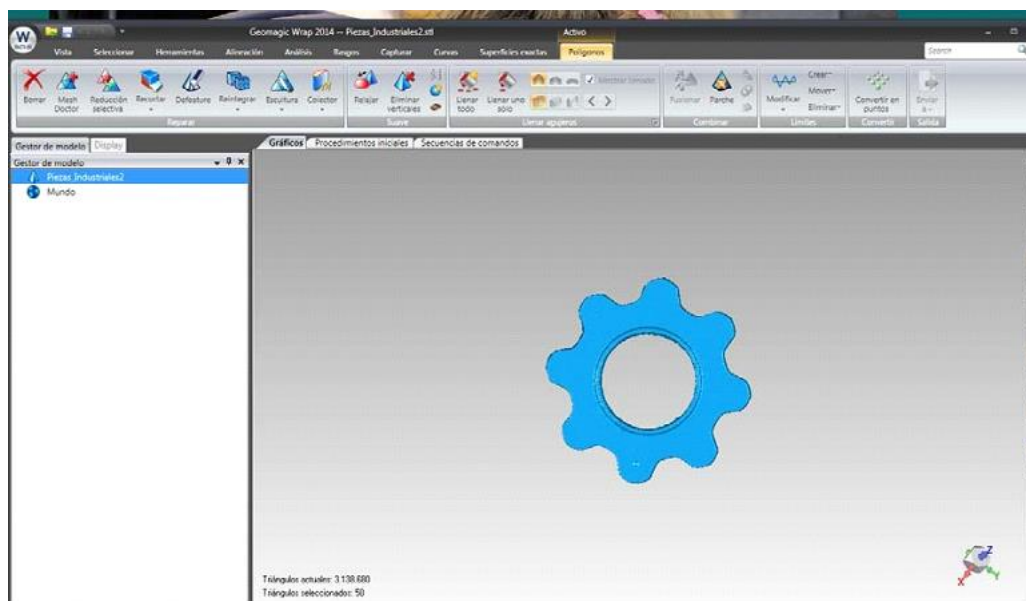
8.1 MODELO GENERADO MEDIANTE FOTOGRAMETRIA

Dado el volumen de la información generada a lo largo de este trabajo, se ha decidido adjuntar en el soporte digital una carpeta con las salidas STL de las diferentes piezas analizadas.

Los resultados mostrados ya han sufrido una reducción selectiva de triángulos dado que el modelado inicial superaba los ocho millones de triángulos y hacía muy complicado el manejo del mismo.



Figura 40: Piezas de la bomba de aceite en Geomagic Wrap.



Triángulos actuales: 3.138.680
Triángulos seleccionados: 58

Figura 41: Vista de la pieza con 3.138.680 triángulos

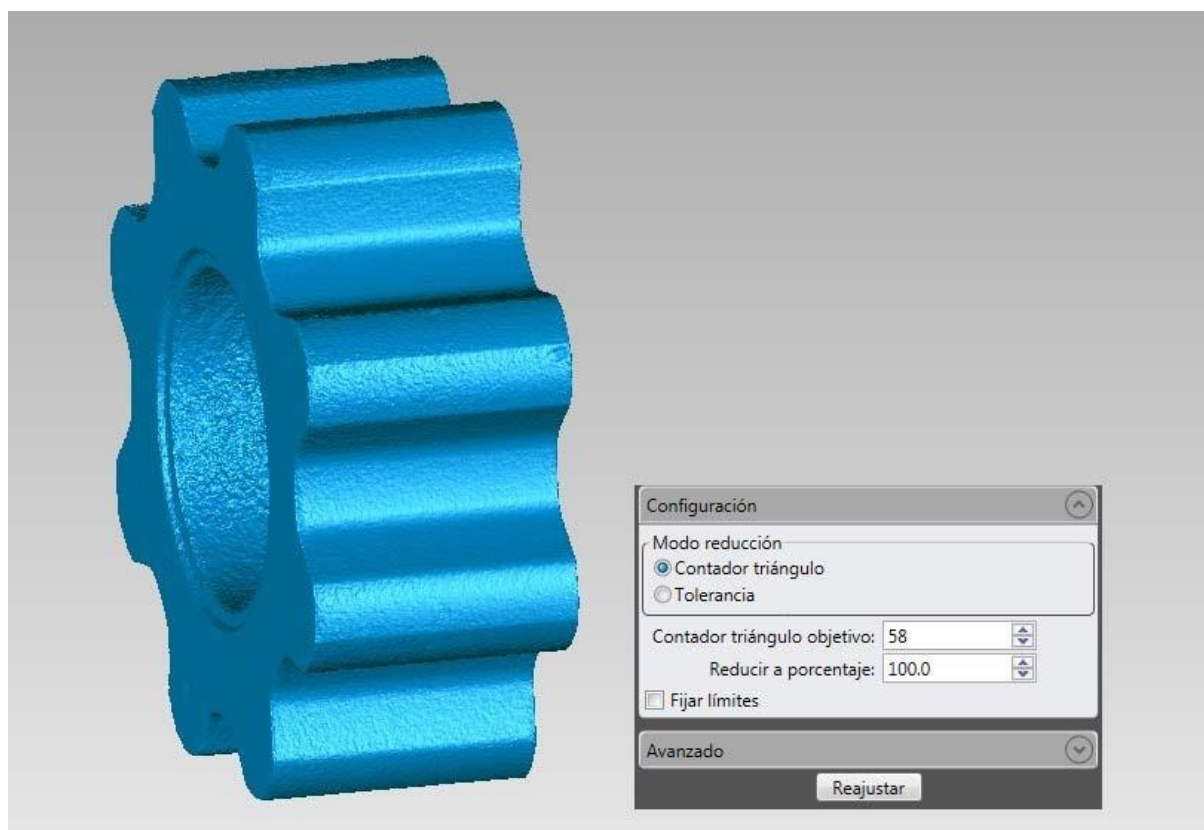


Figura 42: Opciones del programa para la reducción del número de triángulos en función de la tolerancia.

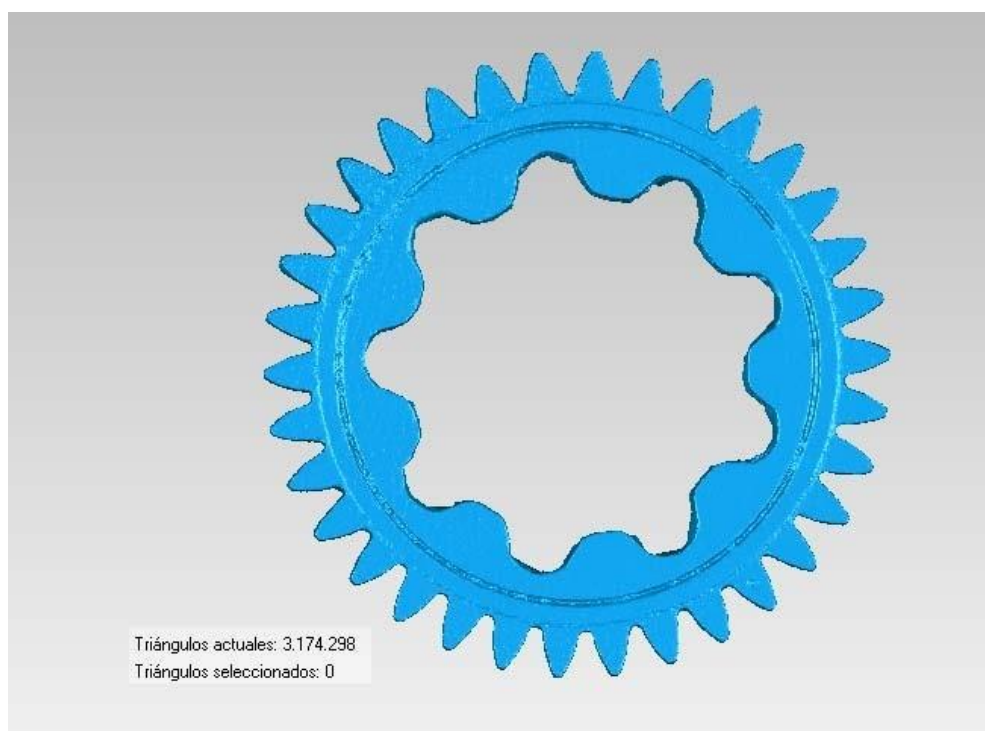


Figura 43: Vista de la pieza con 3.174.298 triángulos.

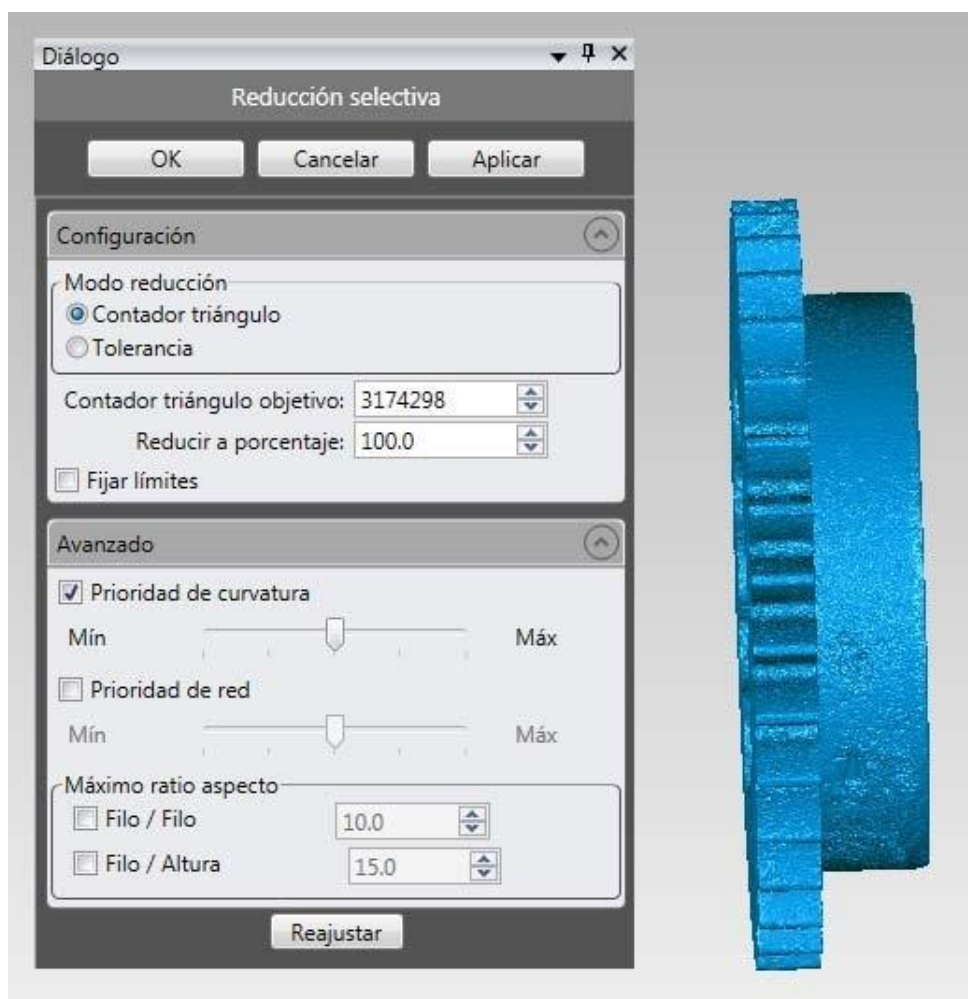


Figura 44: Vista de la pieza 2.

8.2 MODELOS Y PLANOS OBTENIDOS DE LAS PIEZAS REALES MEDIANTE LA UTILIZACION DE CALIBRE

Para el modelo de las piezas por el método tradicional se ha utilizado un pie de rey o calibre, al no disponer de otras tecnologías basadas en el palpado que nos hubieran permitido validar el modelo realizado con mayor exactitud.

El calibre es una herramienta que sirve para realizar mediciones, que está formado por una regla que tiene una escuadra en uno de los extremos. Sobre esta escuadra desliza otra, para indicar la medida tomada en una escala. El calibre utiliza la escala Vernier, que es un tipo de escala que se desliza por la regla principal para permitir realizar en ella lecturas de dimensiones más exactas.

Dicha escala está dividida en $n-1$ divisiones de la escala principal. Dichas divisiones tienen la misma longitud.

Es una herramienta bastante delicada, y debe de ser utilizada con mucho cuidado y delicadeza, para no generar daños en las piezas que lo conforman.



Figura 45: Calibre utilizado.

Este calibre consta de un nonio que dividido en 20 divisiones, por lo que tiene una apreciación de 0.5mm.



Figura 46: Nonio del calibre utilizado.

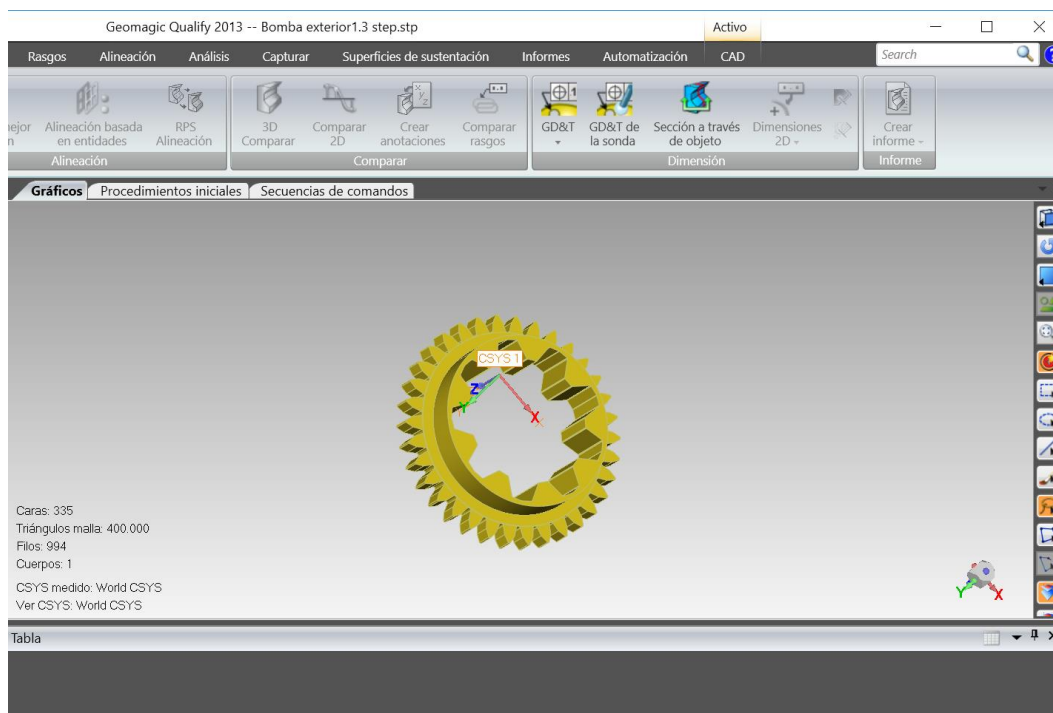


Figura 47: Vista de la figura 1 modelada con Inventor.

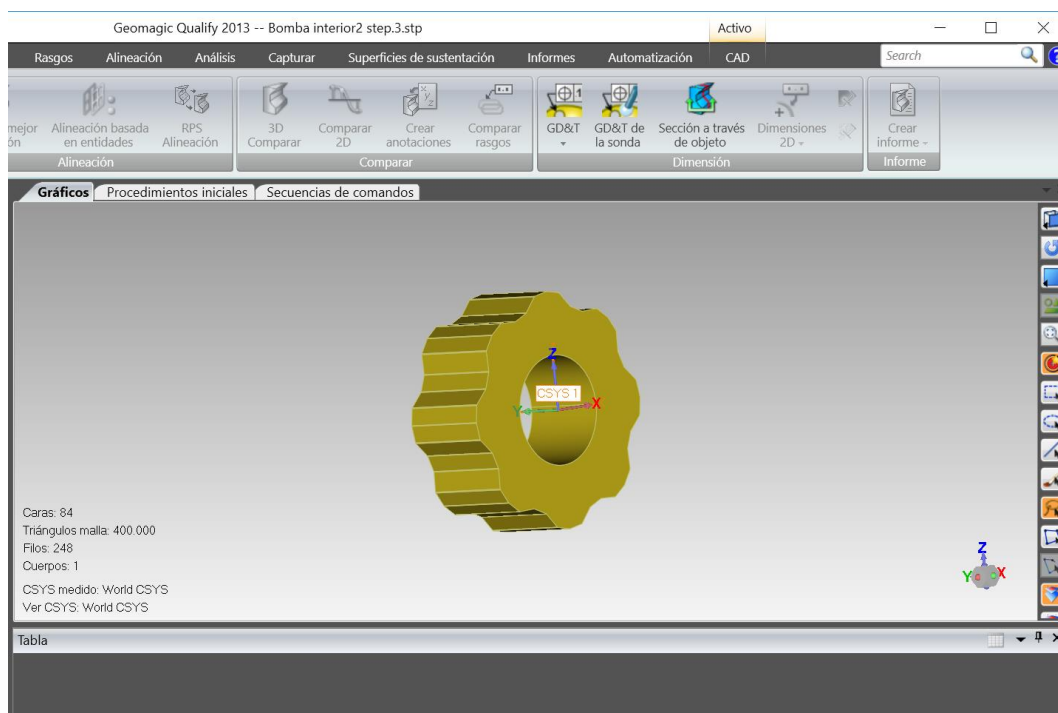
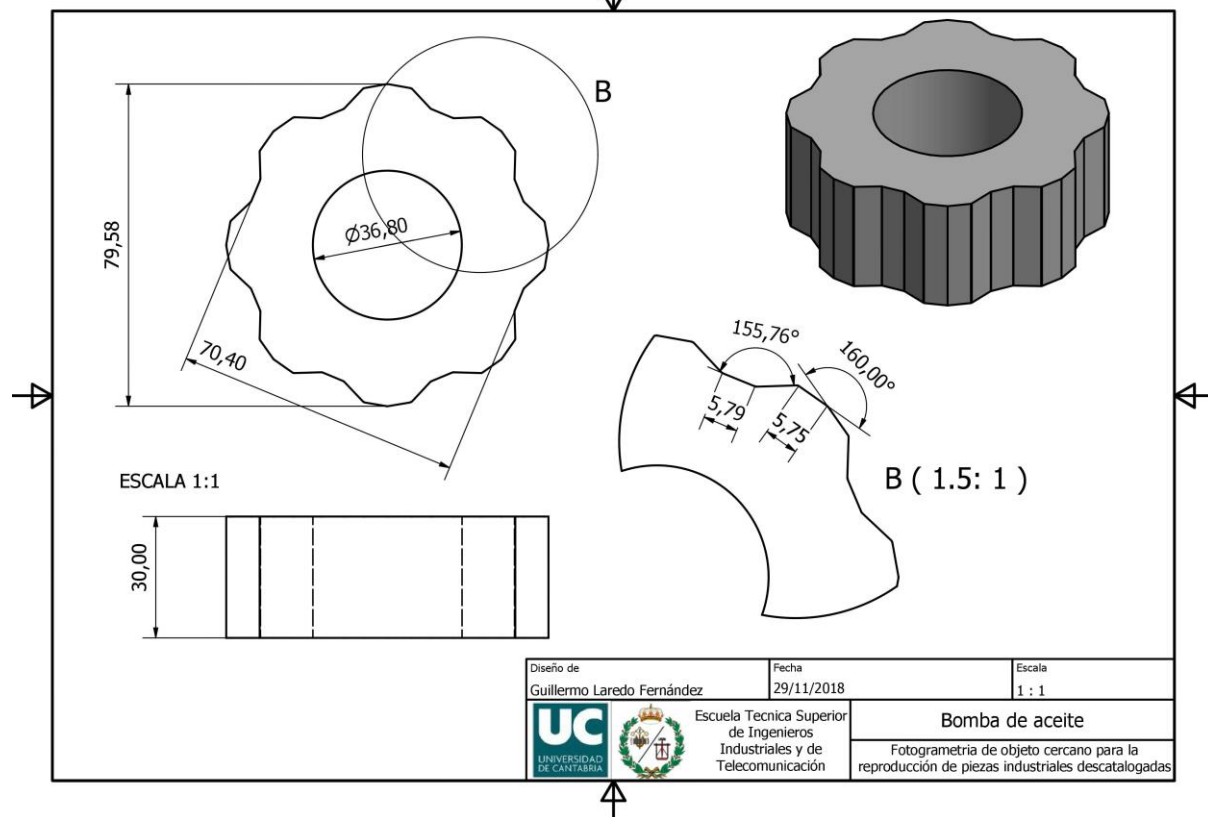
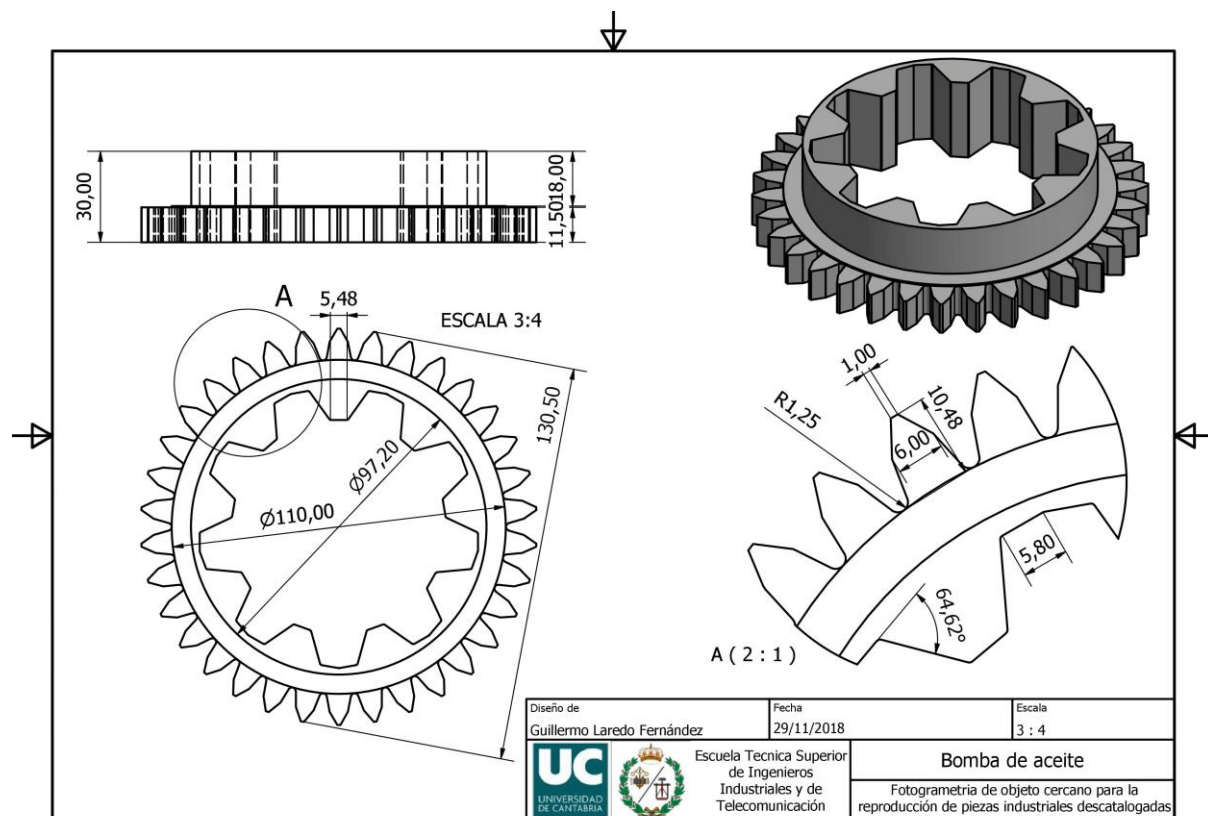
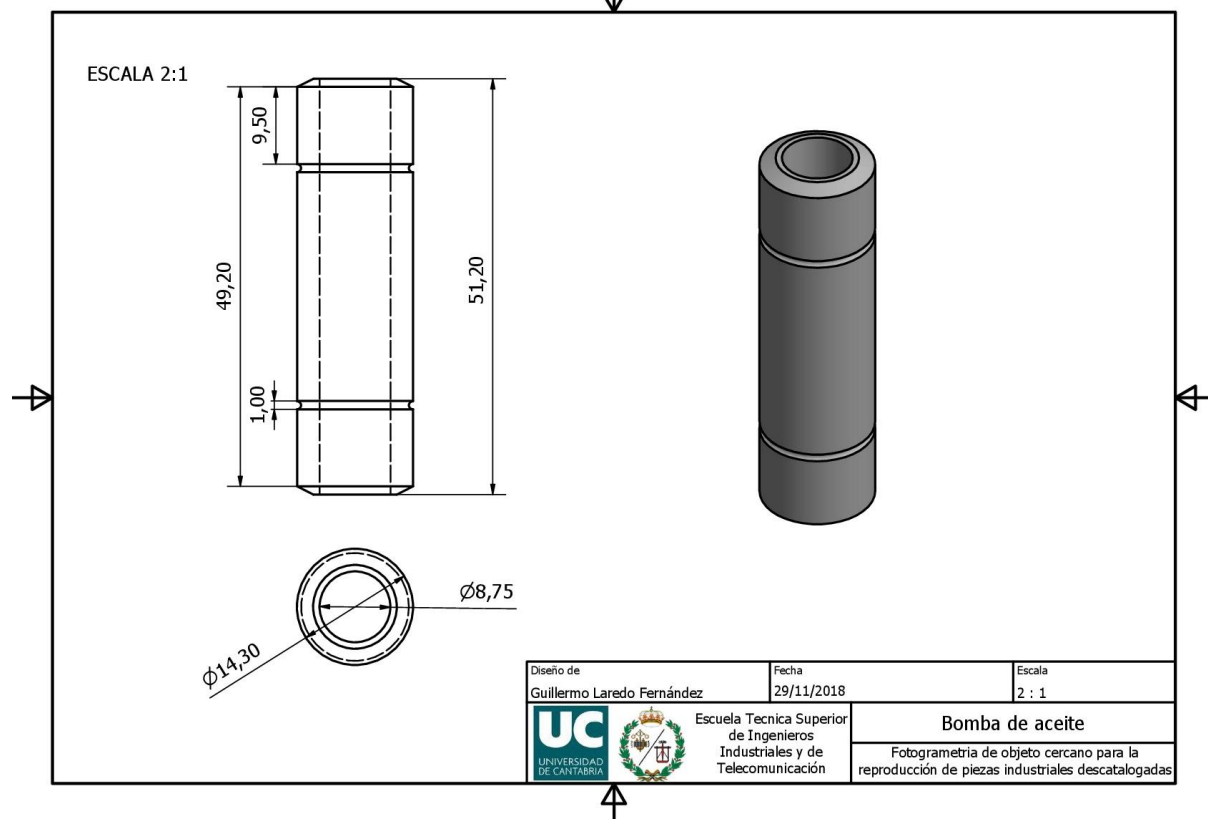
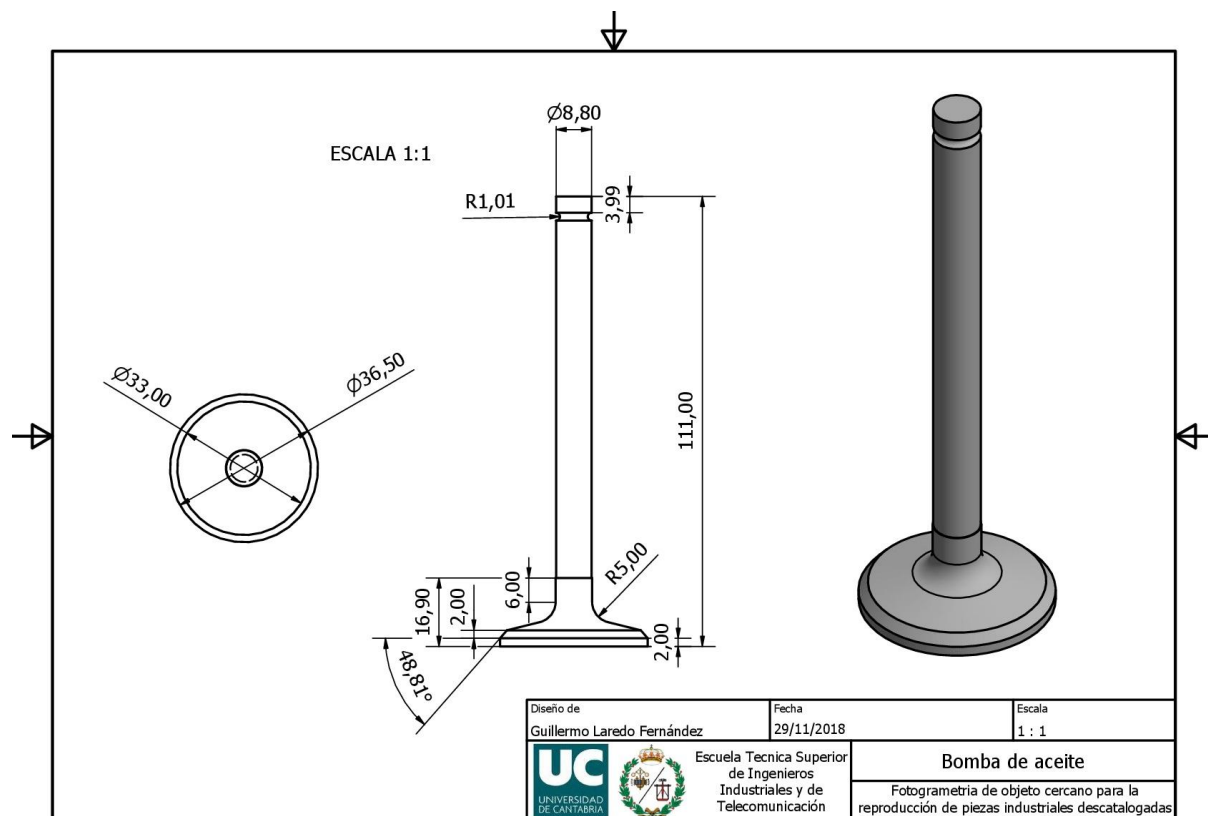


Figura 48: Vista de la figura 2 modelada con Inventor.





8.3 VALIDACIÓN METODOLÓGICA

Una de las partes fundamentales de este trabajo, en el que se intente demostrar la validez de la metodología propuesta, es la validación del método. Ahora bien, al no disponer de otro tipo de elemento de contraste se ha procedido a la comparación del modelo obtenido siguiendo el procedimiento fotogramétrico con los tradicionales planos obtenidos por medición con calibre.

Para esto se procede a comparar ambos resultados utilizando la aplicación de Geomagic Qualify, software que permite seccionar las piezas modeladas siguiendo la dirección planteada por el usuario. Se adjuntan los resultados en el Anexo correspondiente.

Una vez insertados ambos modelos en el programa es necesario establecer un modelo como “Referencia”, y el otro modelo como “Test”. Para esto, se hace click con el botón derecho sobre el nombre de ambos modelos y se seleccionan las opciones “Establecer Test” y “Establecer Reference”.

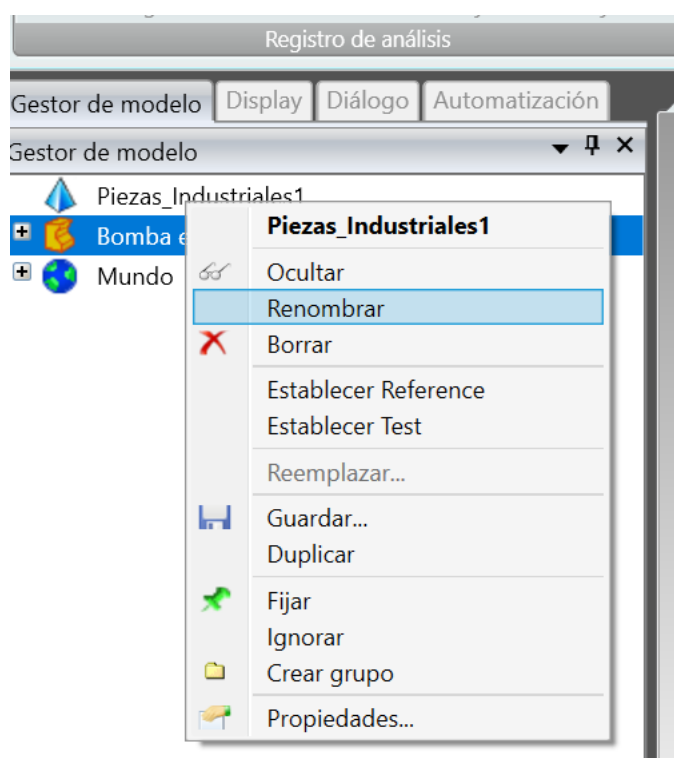


Figura 49: Establecer Test y Reference.

Una vez establecidos los ajustes iniciales, el programa ya permite llevar a cabo la alineación entre ambos modelos. Para ellos hay que hacer click en la pestaña Alineación, y seleccionar la opción Alineación del punto N. Posteriormente, aparecen en pantalla ambos modelos separados en la parte superior, y los modelos unidos, pero no alineados, en la parte inferior.

El siguiente paso es seleccionar una serie de puntos de cada modelo, para que estos permitan al programa llevar a cabo la alineación. Elegidos los puntos, se hace click en “Ok”, y tras una corta espera, ambas piezas se alinean.

Para finalizar la comparación, se selecciona la opción Comparación 3D, y el programa realiza una comparación automática de ambos modelos, en la cual se pueden observar las desviaciones gracias a una escala de color que el programa nos facilita para una mejor visualización.

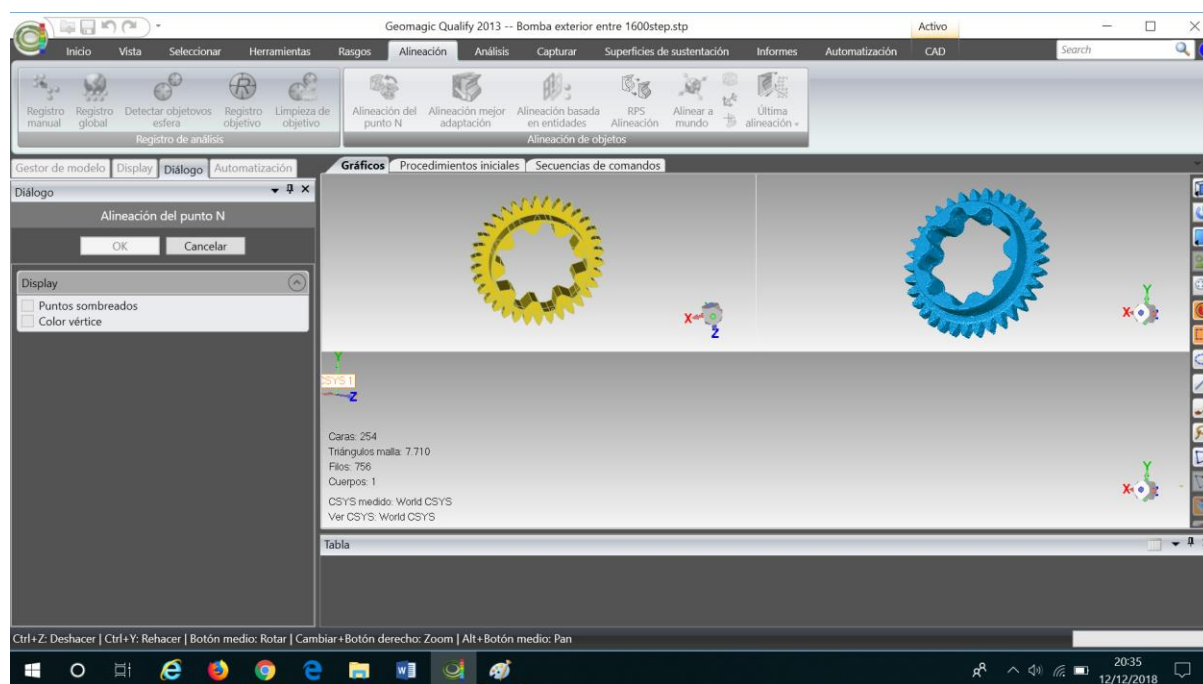


Figura 50: Modelos antes de seleccionar los puntos para alinear.

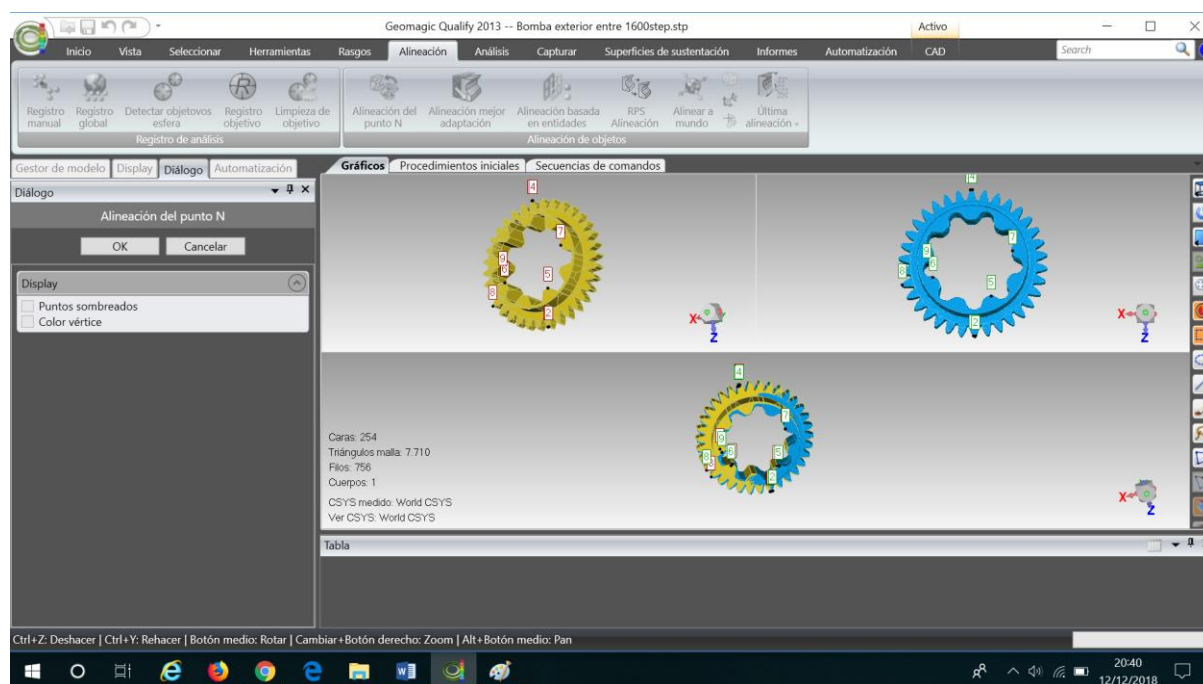


Figura 51: Modelos con los puntos para alinear seleccionados.

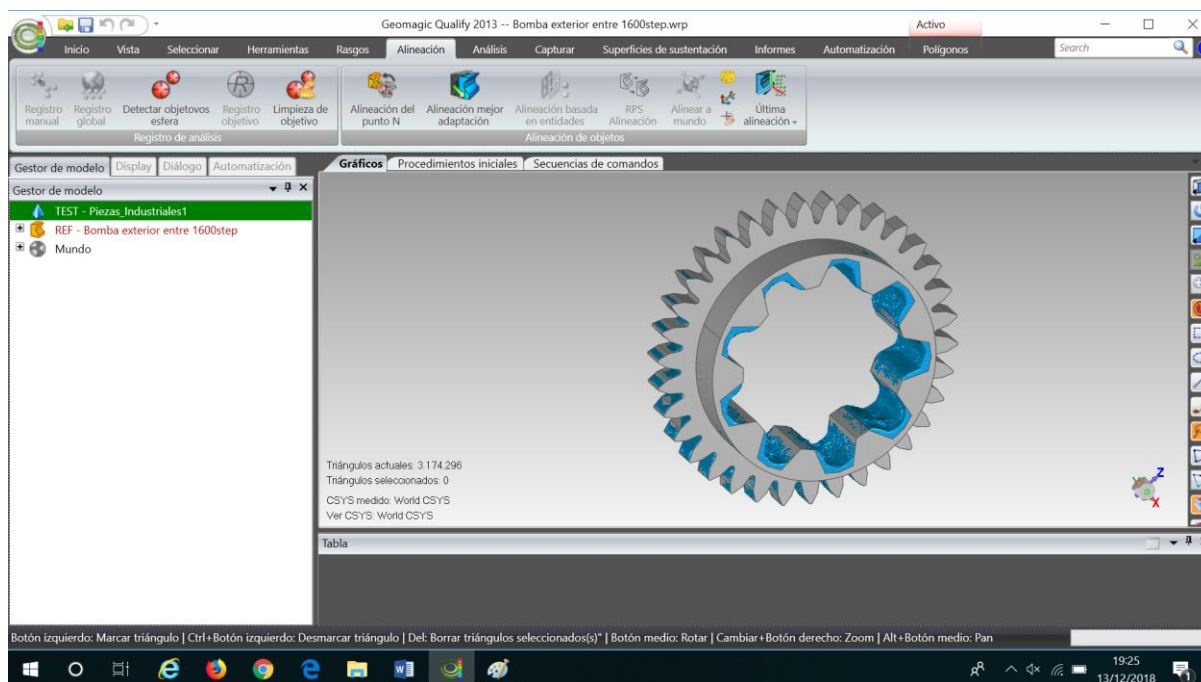


Figura 52: Vista de los modelos alineados.

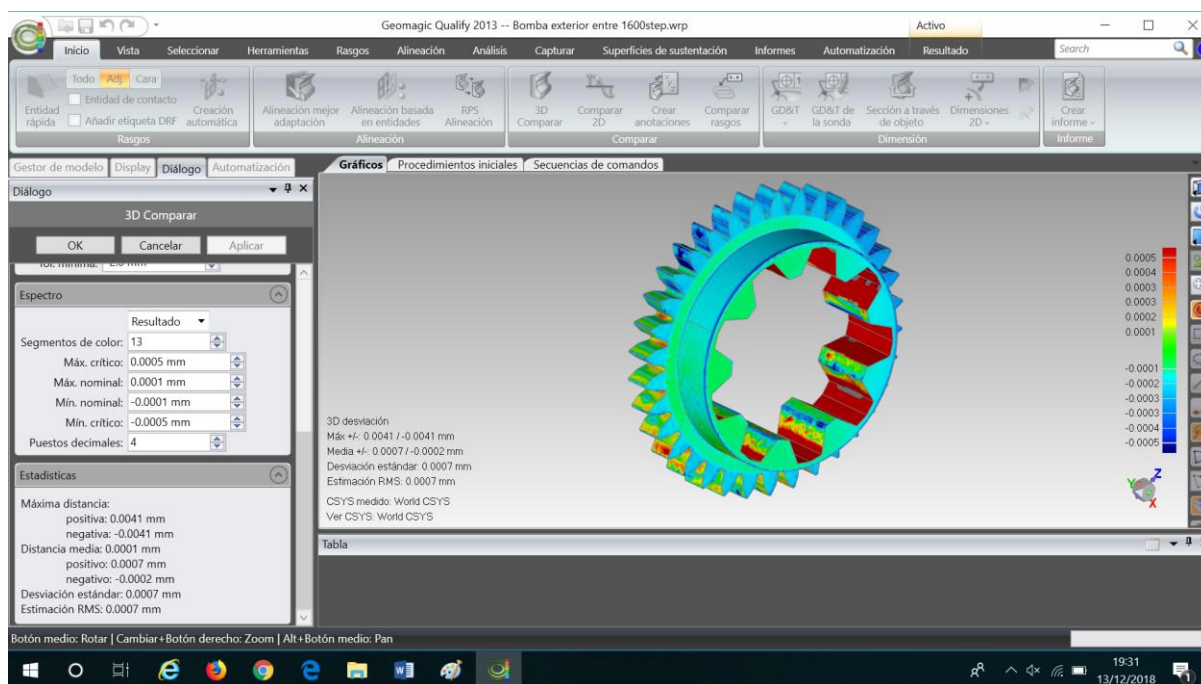


Figura 53: Comparativa 3D de los dos modelos en una escala de color.

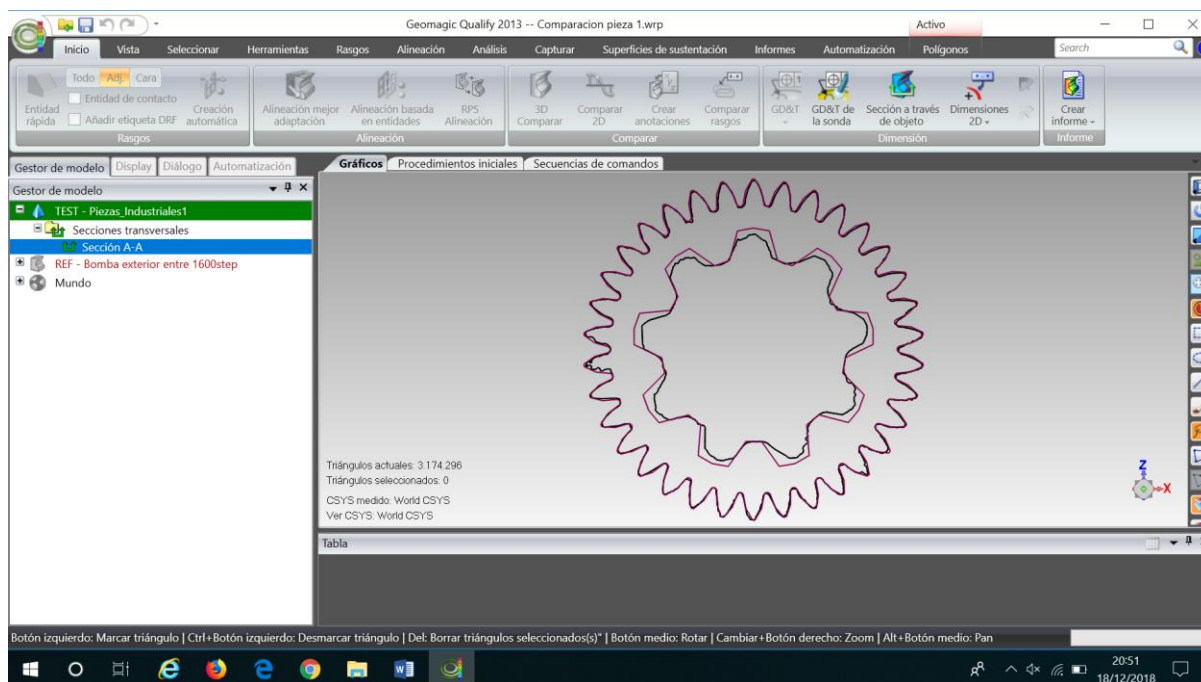


Figura 54: Comparación entre secciones de pieza 1.

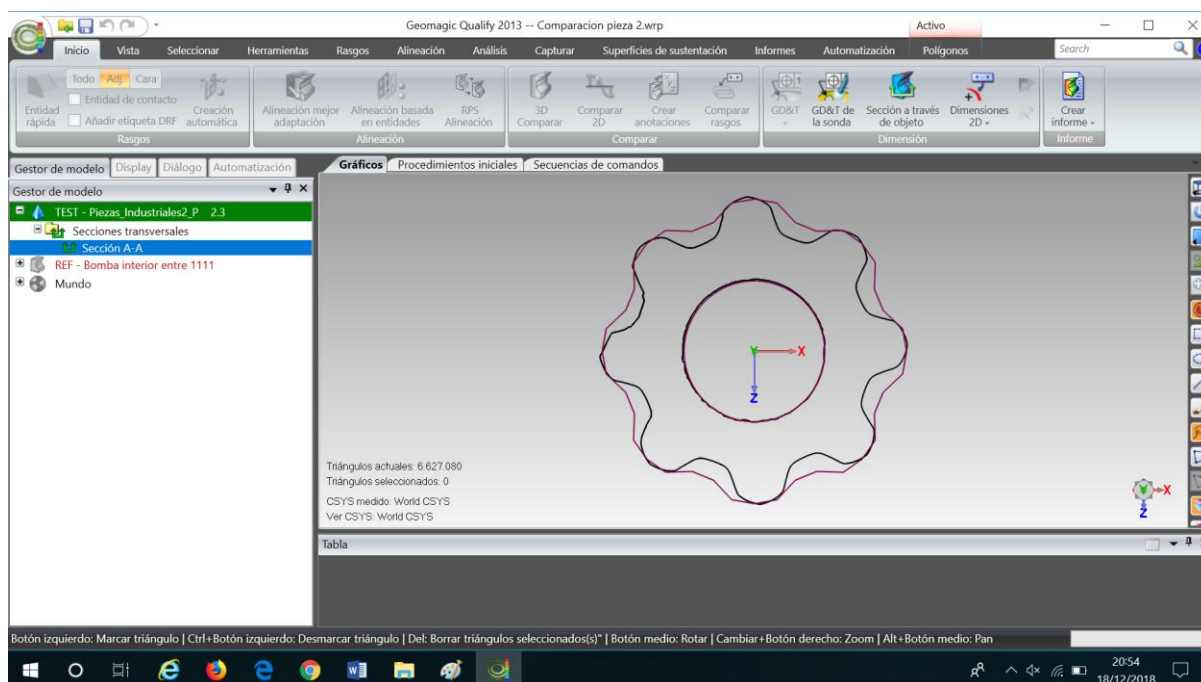


Figura 55: Comparación entre secciones de pieza 2.

9 PRESUPUESTO

Este trabajo no ha requerido inversión, pues se disponía de todo el material necesario para su ejecución. No obstante, se ha llevado a cabo un análisis de cuál hubiera sido el presupuesto necesario en el caso de haber sido necesario adquirir los diferentes componentes utilizados.

- | | |
|---------------------------------------|---------------|
| • Cámara Sony A7 R-Mark ii: | 2200.45 euros |
| • Objetivo de 90mm SEL90M28G: | 1099.00 euros |
| • Cubo de luz PMS 80x80x80: | 17.29 euros |
| • Filtro polarizador lineal ST 38 40: | 62.80 euros |

La captura de las imágenes tiene un coste de 3379.54 euros.

El software utilizado tampoco ha tenido coste, ya que se han utilizado versiones DEMO.

En el caso de haber sido necesaria su compra el coste sería de:

- | | |
|----------------------|----------------|
| • Geomagic Design X: | 17500.00 euros |
| • Agisoft Photoscan: | 51.91 euros |
| • Adobe lightroom: | 139.00 euros |
| • Autodesk Inventor: | 2553.00 euros |

El coste del software utilizado sería de 20243.91 euros.

El coste total sería de 23623.45 euros.

10 CONCLUSIONES

Para finalizar este proyecto, se procede a realizar una explicación de las principales conclusiones obtenidas después de la realización de todo el trabajo.

- El esquema metodológico planteado es de gran utilidad en pequeñas y medianas empresas en las que no es viable realizar importantes inversiones en maquinaria, cuyo retorno no está garantizado, como puede ser la adquisición de un brazo escáner.
- La fotogrametría de objeto cercano es una metodología económica y efectiva para el campo de la ingeniería mecánica, ahora bien, es necesaria una buena planificación del trabajo. Es fundamental tener claras las características de la pieza, la resolución exigida, el método de reproducción a utilizar (fresadora, moldes...).
- La fotogrametría de objeto cercano obtiene resoluciones, en micras, mejores que otros métodos empleados hasta el momento. No obstante, es fundamental tener claro cuáles son las exigencias requeridas para planificar la captura de la información adecuadamente, eligiendo el tipo de cámara, la óptica a emplear, la fuente de iluminación, los polarizadores, el tipo de superficie del elemento, los sistemas de dimensionamiento (reglas abfo), ...
- El software de tratamiento de la información fotográfica (Agisoft, Pix4d,...) deben ser empleado bajo la supervisión de un técnico que sea experto en la materia. Nunca deben ser tratados como procesos automáticos.
- Este tipo de técnicas requieren de equipos informáticos de tratamiento de la información potentes, una buena tarjeta gráfica con suficiente memoria, dado que el procesado es costoso al trabajar con varios millones de triángulos.
- La superficie del elemento es fundamental a la hora de realizar la captura de información. El proceso de captura y, por tanto, su planificación dependerá del tipo del elemento a capturar y de las peculiaridades de su superficie. En ocasiones es necesario recurrir a elementos que introduzcan ruido en la imagen (como puede ser los polvos talco).
- Ningún método es excluyente. En función de la tipología de la pieza y de las resoluciones exigidas se elegirá una metodología u otra.
- En función del método de reproducción utilizado se deberá optar por un tipo de resultado u otro (modelo tridimensional, planos,...).
- Las piezas correspondientes a la bomba de aceite han quedado bien modeladas y listas para su reproducción.

11 REFERENCIAS

11.1 LIBROS O MANUALES TECNICOS

- Atkinson, K. B. (Ed.). (1996). Close range photogrammetry and machine vision. Dunbeath, Scotland: Whittles Publishing.
- Fra Paleo, U. (2011). Diccionari terminologic de fotogrametria. Barcelona: ICC/Enciclopedia Catalana.
- Fryer, J., Mitchell, H., & Chandler, J. (Eds.). (2007). Applications of 3D measurement from images. Dunbeath, Scotland: Whittles Publishing.
- Granshaw, S. I. (2016). Photogrammetric Terminology: Third Edition.
- Kraus, K. (2007). Photogrammetry from images and laser scans (2nd ed.). Berlin: Walter de Gruyter.
- Lerma, J. I. (2002). Fotogrametria moderna: analítica y digital. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2013). Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging (2nd ed.)
- T. V´arady, R. R. Martin and J. Cox. Reverse engineering of geometric models—an introduction. Computer Aided Design, 29(4):255–268, 1997.
- Fraser, C.S., Woods, A., Brizzi, D., 2005- Hyper redundancy for accuracy enhancement in automated close range photogrammetry. The Photogrammetric Record 20 (111).
- Tecklenburg, W., Luhman, T., Hastedt, H., 2001. Camera modelling with image-variant parameters and finite elements.
- Streilein, A. (1998) Digitale Photogrammetry and CAD.
- Almagro, A., Patias, P. and Waldhausl, P. (1996) The CIPA “O. Wagner Pavillion” test. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Fraser, C. S. (1996) Industrial measurement applications. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing, Caithness, UK.
- Brenner, C. and Haala, N. (1998) Fast production of virtual reality city models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Balaguer Puig, Matilde. Fotogrametría de Objeto Cercano. Conceptos básicos. Valencia, España.

11.2 NORMATIVA TECNICA

Instituto geográfico nacional (<http://www.ign.es/web/ign/portal>)

11.3 SITIOS WEB DE INTERES PARA LA TEMATICA

[1] <http://pnoa.ign.es/>

[2] <http://www.ign.es/web/ign/portal>

[3] <https://www.saf.cl/>

[4] <http://www.inegi.org.mx/>

[5] <http://fal.com.co/images/Fotografia-Aerea-Terrenos.jpg>.

[6] www.gonostopografia.com/2012/06/pix4d-la-mejor-herramienta-en-fotogrametriadigital

[7] <https://es.3dsystems.com>

[8] [https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_\(instrumento\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_(instrumento))

[9] https://www.ecured.cu/Adobe_Photoshop_Lightroom

[10] <https://www.scientec.com.mx/agisoft-photoscan/>

[11] <https://www.adobe.com/es/products/photoshop.html>

[12] <https://www.autodesk.es/products/inventor/overview>

[13] <https://www.ro-des.com/mecanica/bomba-de-aceite-que-es-y-para-que-sirve/>

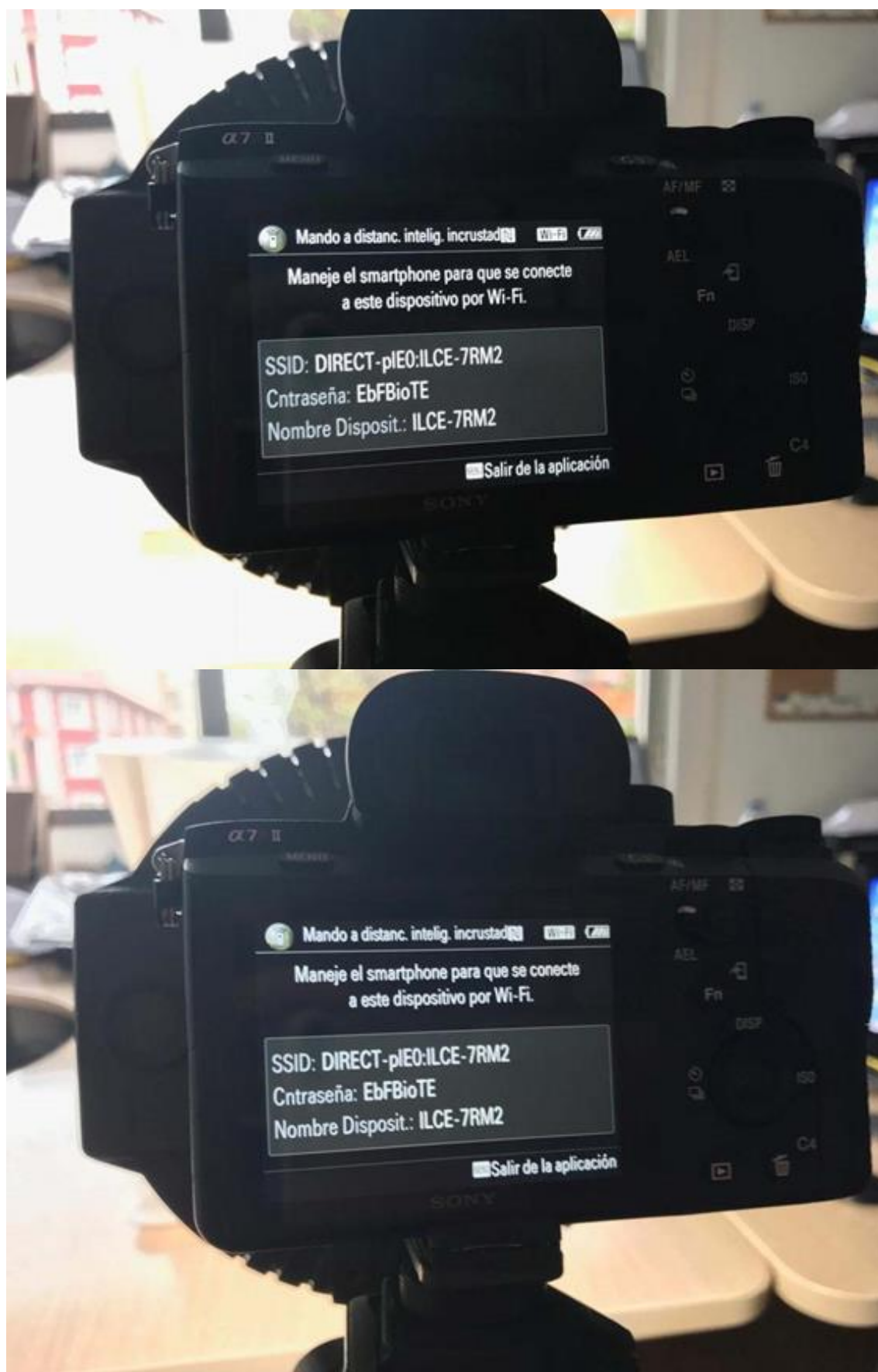
[14] <https://www.scribd.com/document/202895264/x1-Ventbauarten-Es-Web>

[15] <https://www.monografias.com/docs/APLICACIONES-DE-LA-FOTOGRAFIADIGITAL-EN-LA-ING-F34AKZUPC8UNY>

[16] <https://www.artec3d.com/es/3d-software/geomagic-wrap>

ANEXOS

ANEXO 1 – GALERIA FOTOGRAFICA

































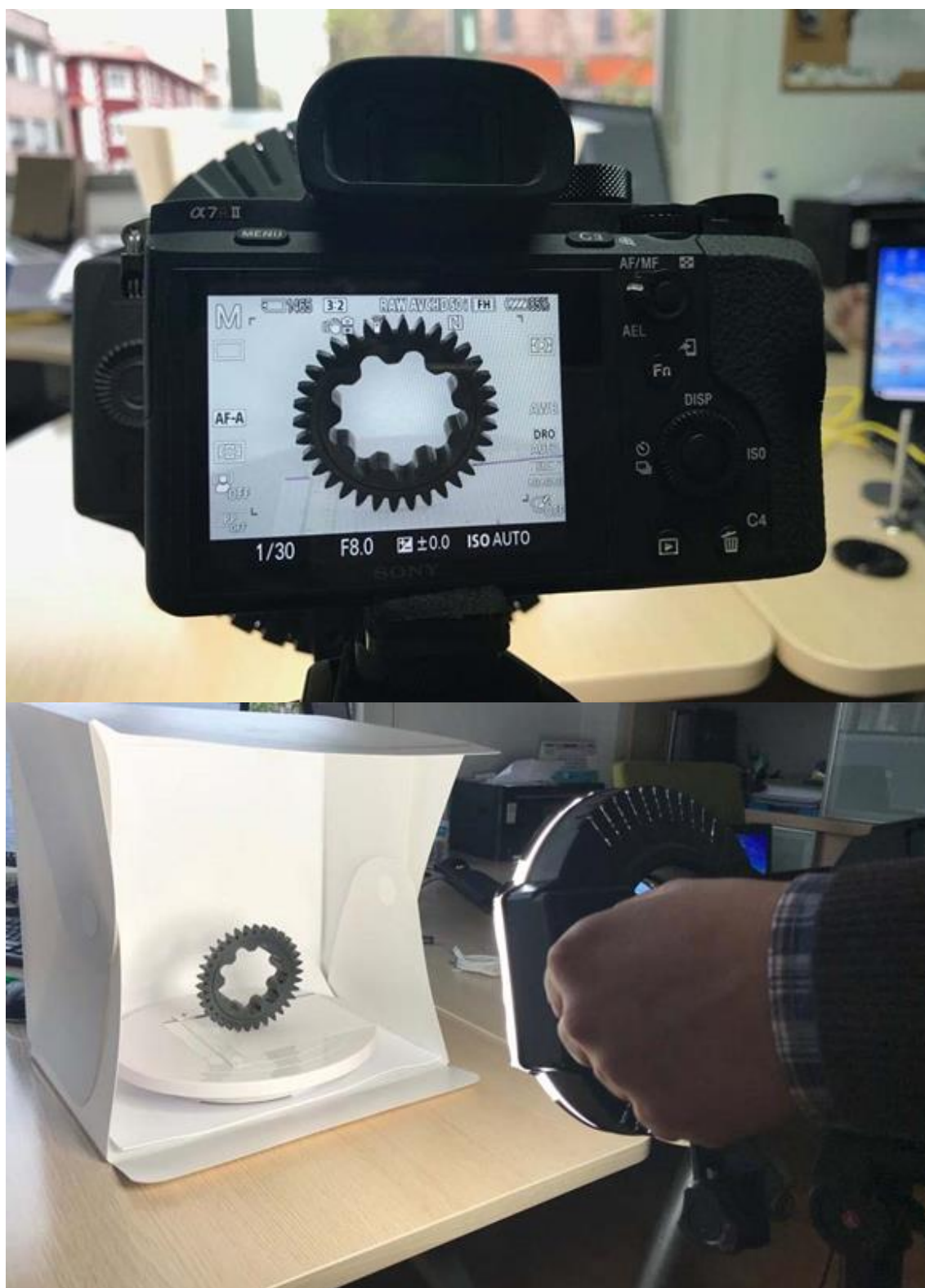








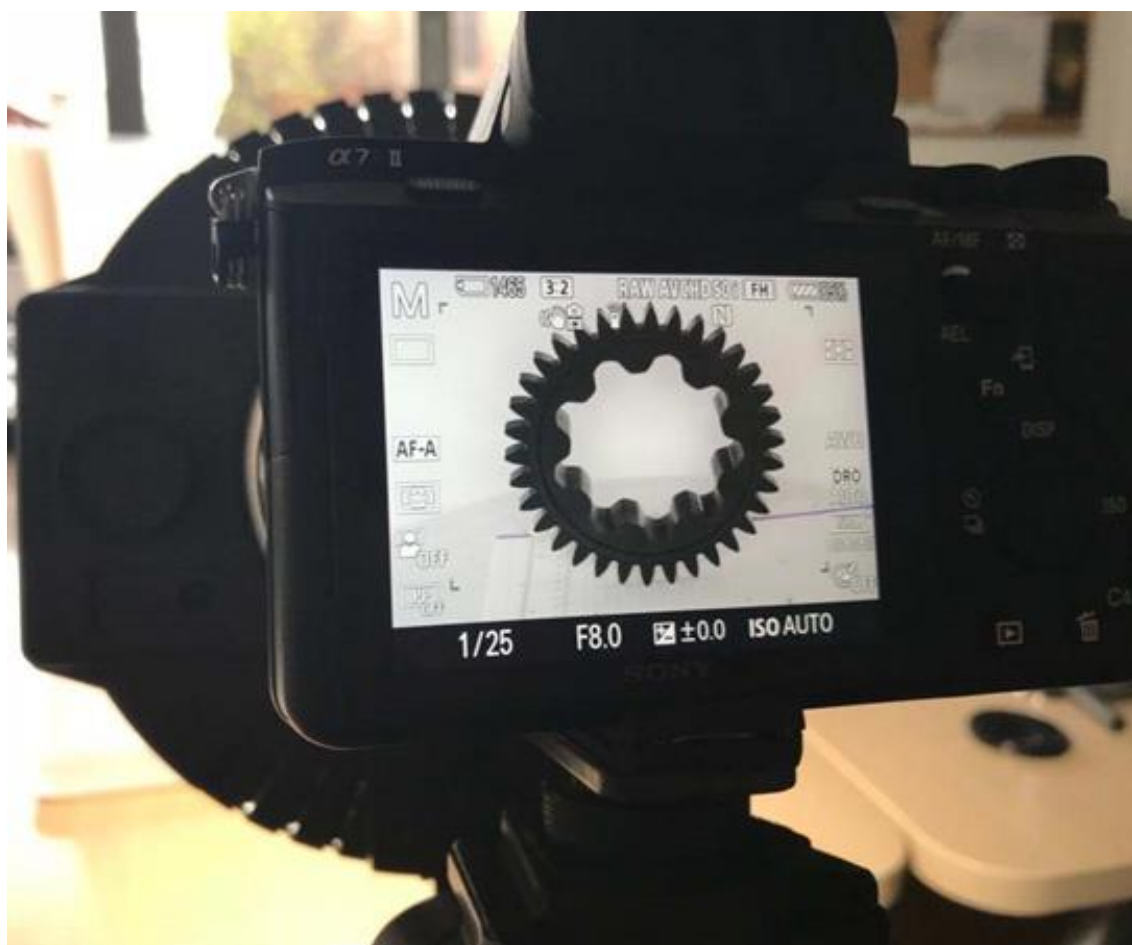


























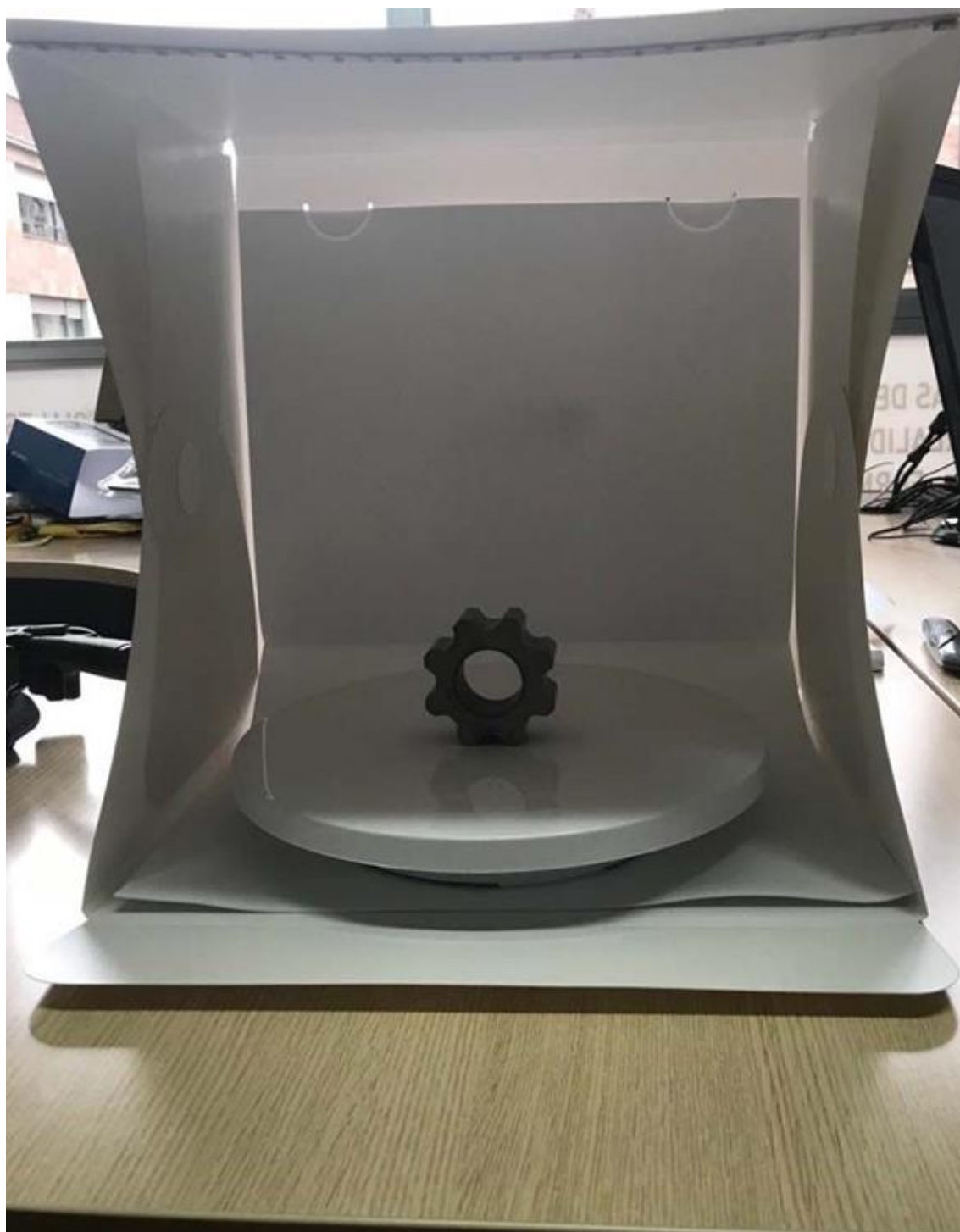






























ANEXO 2 – MODELADO TRIDIMENSIONAL

CONSULTAR LA CARPETA ADJUNTA